

## Großtechnische Erprobung eines standardisierten Optimierungs- und Simulationswerkzeugs zur Online-Kanalnetzsteuerung am Beispiel des Einzugsgebiets der Kläranlage Kenten im Erftverbandsgebiet, Phase II

### Abflusssteuerung in Kanalnetzen unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit

Vergabe-Nr. 08/058.2 – Einzelauftrag 10

gefördert durch

**Ministerium für Klimaschutz, Umwelt,  
Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen**



Partner



**SIEMENS**



**Großtechnische Erprobung eines standardisierten  
Optimierungs- und Simulationswerkzeugs zur  
Online-Kanalnetzsteuerung am Beispiel des  
Einzugsgebiets der Kläranlage Kenten im  
Erftverbandsgebiet, Phase II**

**Abflusssteuerung in Kanalnetzen unter dem Aspekt  
der Wirtschaftlichkeit**

Aachen, November 2016 FiW an der  
RWTH Aachen

Dr.-Ing. F.-W. Bolle

## Projektbearbeitung

|                                                                                     | <b>Institution</b>                                                                                                                                                                                                | <b>Bearbeiter</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <p>Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen e.V.</p> <p>Kackerstraße 15-17<br/>52056 Aachen</p> <p>Tel.: 0241 80 26825<br/>Fax: 0241 80 22825<br/>Email: fiw@fiw.rwth-aachen.de</p> | <p>Maja Lange</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|    | <p>Erftverband</p> <p>Bauassessor Norbert Engelhardt<br/>Am Erftverband 6<br/>50126 Bergheim</p> <p>Tel.: 02271 88 0<br/>Fax: 02271 80 12 10</p>                                                                  | <p>Heinrich Dahmen<br/>Reinhold Kiesewski<br/>Sebastian Kordel</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|  | <p>PFI Planungsgemeinschaft GmbH &amp; Co. KG</p> <p>Dr.-Ing. Richard Rohlfing<br/>Karl-Imhoff-Weg 4<br/>30165 Hannover</p> <p>Tel.: 0511 35851-0<br/>Fax: 0511 35851-43</p>                                      | <p>Dr.-Ing. Richard Rohlfing<br/>Oliver Pracejus</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|  | <p>Siemens AG</p> <p>Process Industries and Drives<br/>Process Automation<br/>Automation and Engineering<br/>Water &amp; Wastewater<br/>PD PA AE W&amp;WW</p>                                                     | <p>Dr. Annelie Sohr<br/>CT RDA AUC MST-DE<br/>Otto-Hahn-Ring 6<br/>81739 München, Deutschland<br/>Tel.: +49 89 636-633308<br/>Mobil: +49 152 21859498<br/>Email:annelie.sohr@siemens.com</p> <p>Holger Hanss<br/>PD PA AE W&amp;WW<br/>Siemensallee 84<br/>76187 Karlsruhe, Deutschland<br/>Tel.: +49 721 595-85854<br/>Mobil: +49 1522 2912019<br/>Email:holger.hanss@siemens.com</p> |



## Inhaltsverzeichnis

|           |                                                               |           |
|-----------|---------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>  | <b>Zusammenfassung .....</b>                                  | <b>1</b>  |
| <b>2</b>  | <b>Rückblick erste Projektphase .....</b>                     | <b>2</b>  |
| <b>3</b>  | <b>Beschreibung des Untersuchungsgebiets Kenten .....</b>     | <b>3</b>  |
| 3.1       | Gebiets- und Netzdaten .....                                  | 3         |
| 3.2       | Niederschlagsdaten .....                                      | 4         |
| 3.3       | Technische Ausrüstung .....                                   | 6         |
| <b>4</b>  | <b>Abflusssteuerung im Netz Kenten .....</b>                  | <b>10</b> |
| 4.1       | Ziele .....                                                   | 10        |
| 4.2       | Umsetzung der Abflusssteuerung in Kenten.....                 | 10        |
| 4.3       | Zuflussprognose mit HEC-HMS .....                             | 11        |
| 4.3.1     | Modell und Eingangsdaten .....                                | 11        |
| 4.3.2     | Kalibrierung des Modells HEC-HMS.....                         | 12        |
| 4.4       | Steuerung und Simulation des Netzes mit SIWA SEWER.....       | 15        |
| 4.4.1     | Simulationsmodell und Steuerungstool.....                     | 15        |
| 4.4.2     | Steuergrößen .....                                            | 18        |
| 4.4.3     | Steuerungsalgorithmus .....                                   | 19        |
| 4.4.4     | Datenerfassung und -archivierung.....                         | 20        |
| 4.5       | Optimierungen und Anpassungen im Modell und Netz.....         | 22        |
| <b>5</b>  | <b>Risiko- und Störungsanalyse und Ausfallstrategie .....</b> | <b>24</b> |
| 5.1       | Risiko- und Störungsanalyse.....                              | 24        |
| 5.2       | Ausfallstrategie.....                                         | 26        |
| <b>6</b>  | <b>Genehmigung.....</b>                                       | <b>29</b> |
| <b>7</b>  | <b>Ergebnisse des gesteuerten Betriebs .....</b>              | <b>29</b> |
| 7.1       | Ausfallstatistik .....                                        | 30        |
| 7.2       | Entlastungsverhalten.....                                     | 33        |
| 7.3       | Einfluss der Zuflussprognose .....                            | 41        |
| 7.4       | Auswirkungen auf den Betrieb.....                             | 42        |
| <b>8</b>  | <b>Vergleich ungesteuerter und gesteuerter Betrieb .....</b>  | <b>42</b> |
| 8.1       | Gesamtbetrachtung.....                                        | 42        |
| 8.2       | Regenereignis am 28.07.2016 .....                             | 43        |
| 8.3       | Regenereignisse zwischen dem 02.08. und dem 04.08.2016.....   | 45        |
| 8.4       | Regenereignis am 27.08.2016 .....                             | 46        |
| 8.5       | Regenereignis 04.09.2016 .....                                | 46        |
| <b>9</b>  | <b>Übertragbarkeit auf andere Netze .....</b>                 | <b>48</b> |
| <b>10</b> | <b>Fazit .....</b>                                            | <b>51</b> |

|                                                                                        |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>11 Anlagen.....</b>                                                                 | <b>53</b> |
| 11.1 Fließschema Kanalnetz Kenten.....                                                 | 53        |
| 11.2 Wichtungsfaktoren für die Zielfunktion des Steueralgorithmus .....                | 55        |
| 11.3 Ergebnisse der Kalibrierung für RÜB 633 für fünf ausgewählte Regenereignisse..... | 57        |
| <b>12 Literatur zum Thema.....</b>                                                     | <b>61</b> |

### Verzeichnis der Bilder

|           |                                                                                                                                                                                                                                   |    |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Bild 3-1: | Lage des Projektgebiets, EZG der Kläranlage Bergheim-Kenten .....                                                                                                                                                                 | 3  |
| Bild 3-2: | Zuordnung der Radardaten zu den Regenbecken im Einzugsgebiet des Klärwerks Kenten im 1 x 1 km Radargitter (Erftverband 2016). Rote Punkte sind Niederschlagsstationen, die zur Plausibilisierung herangezogen werden können. .... | 5  |
| Bild 3-3: | Anpassung Abschlagskante .....                                                                                                                                                                                                    | 8  |
| Bild 3-4: | Einrichtung Durchfluss-messung.....                                                                                                                                                                                               | 8  |
| Bild 3-5: | Nachrüstung Schieber (1) .....                                                                                                                                                                                                    | 8  |
| Bild 3-6: | Nachrüstung Schieber (2) .....                                                                                                                                                                                                    | 8  |
| Bild 3-7: | Einrichtung eines Photovoltaikmoduls.....                                                                                                                                                                                         | 8  |
| Bild 3-8: | Schematische Übersicht des Kanalnetzes Kenten mit Kennzeichnung der fernwirktechnisch angebotenen Anlagen und Markierung der Punkte, für die der Zufluss mittels HEC-HMS aus Radardaten berechnet wird.....                       | 9  |
| Bild 4-1: | Schnittstellen zwischen Modellen und Datenbanken .....                                                                                                                                                                            | 11 |
| Bild 4-2: | Schematische Darstellung des Kanalnetzes mit Lage der gesteuerten Becken und Übergabepunkten der generierten Zuflüsse.....                                                                                                        | 12 |
| Bild 4-3: | Verlauf der Radardaten für jedes einzelne RÜB (Kurvenschar) und der Regenschreiberdaten (rot markiert) für Regenereignis 1 .....                                                                                                  | 13 |
| Bild 4-4: | Verlauf der Radardaten für jedes einzelne RÜB (Kurvenschar) und der Regenschreiberdaten (rot markiert) für Regenereignis 2 .....                                                                                                  | 13 |
| Bild 4-5: | Messung (blau bzw. rot) und Modellergebnisse (grün) und Niederschlagsdaten (Ereignis 3) für RÜB 633 vor der Kalibrierung .....                                                                                                    | 14 |
| Bild 4-6: | Messung (blau bzw. rot) und Modellergebnisse (grün) und Niederschlagsdaten (Ereignis 3) für RÜB 633 nach der Kalibrierung .....                                                                                                   | 14 |
| Bild 4-7: | Eingangsgroßen für die Simulation mit SIWA SEWER und Ergebnisse ....                                                                                                                                                              | 16 |
| Bild 4-8: | Prinzip der Berechnung mit rollendem Zeithorizont (beispielhaft für einen Vorausschauzeitraum von 6 Stunden und einer Neuberechnung alle 3 Minuten) .....                                                                         | 17 |
| Bild 4-9: | Zentrale Datenbank WiASS-DB und Realisierung der Schnittstellen zwischen Modellen und Datenbanken im Projekt .....                                                                                                                | 20 |
| Bild 5-1: | Bedeutung bei Ausfall von Anlagenteilen für die Bereiche lokales Steuerbauwerk, Steuerungszentrale, Wasserrecht, Kanalbetrieb u. Gewässer.....                                                                                    | 25 |
| Bild 5-2: | Risikopotenzial für den Ausfall von Steuerungstechnik, Messtechnik und Fernwirktechnik an den einzelnen RÜB.....                                                                                                                  | 26 |

|            |                                                                                                                                       |    |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Bild 5-3:  | Umgesetzte Ausfallstrategie im Siwa Sewer Assist (Sohr 2015) .....                                                                    | 28 |
| Bild 7-1:  | Beispiel für Eingangsdaten im Projekt: Radarmessdaten für ein<br>Regenereignis (16 h) differenziert für jedes gesteuerte Becken ..... | 34 |
| Bild 7-2:  | Niederschlagsdaten der Station Köln-Bonn (DWD) zwischen 18.03.16 und<br>17.04.16 zur Plausibilitätskontrolle .....                    | 35 |
| Bild 7-3:  | Niederschlagsdaten der Station Köln-Bonn (DWD) zwischen 17.04.16 und<br>17.05.16 zur Plausibilitätskontrolle .....                    | 35 |
| Bild 7-4:  | Niederschlagsdaten der Station Köln-Bonn (DWD) zwischen 18.05.16 und<br>30.06.16 zur Plausibilitätskontrolle .....                    | 36 |
| Bild 7-5:  | Niederschlagsdaten der Station Köln-Bonn (DWD) zwischen 01.07.16 und<br>03.08.16 zur Plausibilitätskontrolle .....                    | 36 |
| Bild 7-6:  | Niederschlagsdaten der Station Köln-Bonn (DWD) zwischen 04.08.16 und<br>31.08.16 zur Plausibilitätskontrolle .....                    | 37 |
| Bild 7-7:  | Niederschlagsdaten der Station Köln-Bonn (DWD) zwischen 01.09.16 und<br>30.09.16 zur Plausibilitätskontrolle .....                    | 37 |
| Bild 7-8:  | Niederschlagsdaten der Station Köln-Bonn (DWD) zwischen 01.10.16 und<br>29.10.16 zur Plausibilitätskontrolle .....                    | 38 |
| Bild 7-9:  | Entlastungsschwerpunkte im Netz Kanten im Datenzeitraum März bis Mitte<br>Oktober 2016 .....                                          | 40 |
| Bild 7-10: | Einfluss der Zuflussprognose auf den Volumenstrom im Hauptsammler und<br>den Einstau im Retentionsbodenfilter .....                   | 41 |
| Bild 8-1:  | Entlastungsmengen und Einsparpotenzial durch Steuerung - Regenereignis<br>Nr. 1, 28.07.2016 .....                                     | 44 |
| Bild 8-2:  | Entlastungsmengen und Einsparpotenzial durch Steuerung -<br>Regenereignisse Nr. 2, 02.08. – 04.08.2016 .....                          | 45 |
| Bild 8-3:  | Entlastungsmengen und Einsparpotenzial durch Steuerung - Regenereignis<br>Nr. 3, 27.08.2016 .....                                     | 46 |
| Bild 8-4:  | Entlastungsmengen und Einsparpotenzial durch Steuerung - Regenereignis<br>Nr. 4, 04.09.2016 .....                                     | 47 |
| Bild 11-1: | Messung (blau bzw. rot) und Modellergebnisse (grün) und<br>Niederschlagsdaten für RÜB 633 nach der Kalibrierung - Ereignis 1.....     | 58 |
| Bild 11-2: | Messung (blau bzw. rot) und Modellergebnisse (grün) und<br>Niederschlagsdaten für RÜB 633 nach der Kalibrierung - Ereignis 2.....     | 58 |
| Bild 11-3: | Messung (blau bzw. rot) und Modellergebnisse (grün) und<br>Niederschlagsdaten für RÜB 633 nach der Kalibrierung - Ereignis 3.....     | 59 |
| Bild 11-4: | Messung (blau bzw. rot) und Modellergebnisse (grün) und<br>Niederschlagsdaten für RÜB 633 nach der Kalibrierung - Ereignis 4.....     | 59 |
| Bild 11-5: | Messung (blau bzw. rot) und Modellergebnisse (grün) und<br>Niederschlagsdaten für RÜB 633 nach der Kalibrierung - Ereignis 5.....     | 60 |

**Verzeichnis der Tabellen**

|              |                                                                                                          |    |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 3-1: | Kenndaten der steuerwürdigen Becken.....                                                                 | 4  |
| Tabelle 4-1: | Mögliche Drosselwassermengen für die gesteuerten Becken im ungesteuerten und im gesteuerten Betrieb..... | 19 |
| Tabelle 5-1: | Tabelle zur Risikobewertung des RÜB 633 .....                                                            | 25 |
| Tabelle 7-1: | Zeit der aktiven Steuerung der Becken in Prozent.....                                                    | 32 |
| Tabelle 7-2: | Datenzeiträume und Anzahl der Tage mit Entlastungsereignissen.....                                       | 33 |
| Tabelle 7-3: | Gemessene und optimierte Entlastungsmengen an den gesteuerten RÜB für die Datenzeiträume .....           | 39 |
| Tabelle 7-4: | Anzahl der Tage mit Entlastungen im gesamten Datenzeitraum (18.03.16 bis 12.10.16) .....                 | 40 |
| Tabelle 8-1: | Einsparung der Gesamtentlastungsmenge durch Steuerung für die ausgewählten Regenereignisse .....         | 43 |

## 1 Zusammenfassung

Im Einzugsgebiet der Kläranlage Kenten des Erftverbands wurde im Rahmen des Forschungsprojekts „Großtechnische Erprobung eines standardisierten Optimierungs- und Simulationswerkzeugs zur Online-Kanalnetzsteuerung am Beispiel des Einzugsgebiets der Kläranlage Kenten im Erftverbandsgebiet“ eine Kanalnetzsteuerung großtechnisch umgesetzt. Das Projekt wurde vom Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV) gefördert und umfasste eine theoretisch orientierte erste Phase (Abschluss 2012) und eine zweite praktische Phase. Der vorliegende Bericht konzentriert sich auf die Ergebnisse der zweiten praktischen Phase, da die erste Phase bereits in einem ausführlichen Abschlussbericht dokumentiert ist (MKULNV 2012).

Die Abflusssteuerung im Bestandsnetz Kenten ist eine Verbundsteuerung von 10 Becken, bei welcher Online-Radardaten für die Prognose des Zuflusses zum Kanalnetz verwendet werden. Der Steuerungsalgorithmus basiert auf der Lösung eines nichtlinearen Optimierungsproblems und ist mit dem Assistenzsystem SIWA SEWER von Siemens über die Anbindung an das Fernwirkssystem umgesetzt.

Die Ergebnisse der Simulationsrechnungen der ersten theoretischen Phase zeigten, dass durch die Abflusssteuerung die Entlastungswassermenge aus dem mischentswässerten Einzugsgebiet z. T. deutlich reduziert werden kann (bis zu ca. 50 %).

In der zweiten praktischen Phase wurde nach Schaffen aller technischen Voraussetzungen (Messtechnik, Anbindung an das Fernwirkssystem, Datenmanagement) die Steuerung großtechnisch erprobt. Die Erprobung umfasste ca. ein Jahr Beobachtung mit Datenaufnahme und -auswertung im ungesteuerten Netzbetrieb mit simultaner offline-Simulation des Steuerungsbetriebs. Die Datenaufnahme und offline-Simulation ermöglichte Anpassungen im Netz, in den Modellen sowie die detaillierte Ausarbeitung der Ausfallstrategie für den Steuerungsbetrieb. Im Januar 2016 wurde die Steuerung aktiv in Betrieb genommen und läuft seit März 2016 im Dauerbetrieb und mit großem Erfolg:

- Das in der ersten Phase abgeschätzte Einsparpotenzial der Entlastungsmenge von 50 % wird z.T. noch deutlich übertroffen und beträgt bis über 80 % gegenüber dem ungesteuerten Betrieb.
- Es hat sich bestätigt, dass das Einsparpotenzial bei der Gesamtentlastungsmenge für kleine und mittlere Regenereignisse am größten ist.
- Die Steuerung weist eine sehr hohe Betriebsstabilität auf, d.h. die Becken wurden zu über 90 % der Zeit aktiv gesteuert.
- Die realen Verhältnisse werden im Modell sehr gut abgebildet (Abweichungen von weniger als 5 % bis 10 %)

- Die Verwendung von Online-Radardaten mit Radarprognose zur Berechnung der Zuflüsse zum Kanalnetz ist geeignet.
- Die automatische Datenbereitstellung und -verarbeitung der Radardaten funktionierte lückenlos und zuverlässig.

Die praktische Umsetzung der Abflusssteuerung und die Ergebnisse des erfolgreichen Betriebs werden im vorliegenden Bericht detaillierter erläutert.

## **2 Rückblick erste Projektphase**

Der praktischen Umsetzung der Kanalnetzsteuerung in Kenten ging eine erste theoretisch orientierte Projektphase voraus, die ebenfalls vom MKULNV gefördert wurde (Abschluss 2012). In der ersten Projektphase wurden die Grundlagen für die Umsetzung der Abflusssteuerung ermittelt. Dazu gehörten die Datenaufnahme und -überprüfung im Einzugsgebiet, die Auswahl und Prüfung der Modelle und die Abschätzung des Steuerpotenzials.

Das Steuerpotenzial wurde nach einer statistischen Analyse vorhandener Niederschlagsreihen anhand von ausgewählten Ereignissen ermittelt. Aus den Niederschlagsereignissen wurden mit dem Modell MOMENT Zuflusswellen zum Kanalnetz generiert. (In der zweiten Phase wurde der Zufluss mit Hilfe von Online-Radardaten simuliert). Für die Abbildung des Ist-Zustands kamen das hydrodynamische Simulationsmodell EXTRAN und das Optimierungstool SIWA SEWER zum Einsatz.

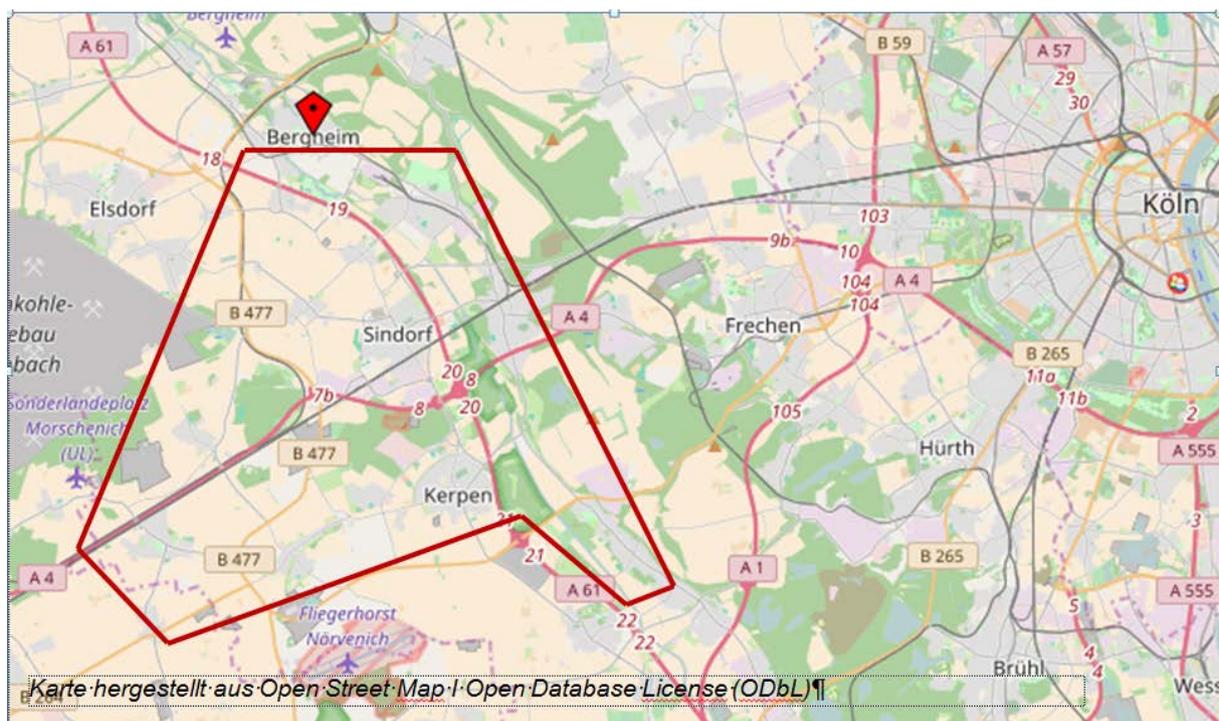
Der Vergleich der berechneten Entlastungsmengen für das ungesteuerte und gesteuerte Netz ergab eine Reduzierung der Gesamtentlastungsmengen für die Einzelereignisse bis zu 50 %. Der positive Einfluss auf das Gewässer dürfte vermutlich größer sein als die reinen Zahlen aussagen, da die der Steuerung zugrundeliegende Optimierungsgleichung den Beckeneinstau, den Beckenüberlauf und den Überstau an jeder zu steuernden Stelle im Netz bewertet und als Randbedingung die bestmögliche Ausnutzung des Retentionsbodenfilters (RBF) enthält. Kleine Verringerungen der Entlastungsmenge führen so durch Verschiebung im Netz und Beschickung des RBF zu kleineren entlasteten Frachten.

Das Ziel der zweiten Projektphase war neben der Umsetzung der Abflusssteuerung auch die Überprüfung des Steuerpotenzials in der Realität.

### 3 Beschreibung des Untersuchungsgebiets Kenten

#### 3.1 Gebiets- und Netzdaten

Das Einzugsgebiet des Gruppenklärwerks Bergheim-Kenten umfasst das gesamte Einzugsgebiet der Stadt Kerpen, die Ortslagen Golzheim und Morschenich der Gemeinde Merzenich, die Ortslagen Berrendorf, Giesendorf, Widdendorf, Grouven und Heppendorf der Stadt Elsdorf sowie die Ortsteile Quadrath-Ichendorf, Kenten, Ahe und Thorr der Stadt Bergheim. Das Kanalnetz entwässert überwiegend im Mischsystem mit einer Gesamtfläche  $A_{EK}$  von insgesamt ca. 2.425 ha. Gegenwärtig existieren im Gesamteinzugsgebiet 34 Regenüberlaufbecken (offene/geschlossene Rund- bzw. Rechteckbecken und Stauraumkanäle) sowie 4 Regenüberläufe und ein Retentionsbodenfilter. Das Gesamtspeichervolumen im Netz beträgt rd. 65.000 m<sup>3</sup> und das spezifische Speichervolumen ca. 69 m<sup>3</sup>/ha  $A_{red}$ . Die Kläranlage ist auf einen Mischwasser- /Trockenwetterzufluss von 624 l/s entsprechend 54.000 m<sup>3</sup>/d ausgelegt.



**Bild 3-1: Lage des Projektgebiets, EZG der Kläranlage Bergheim-Kenten**

Das Einzugsgebiet der Kläranlage Kenten ist relativ flach, die maximale Fließzeit bis zur Kläranlage beträgt über 6 h, wobei die Nachlauf- /Entleerungszeiten im Netz sehr lang sind (bis über 24 Stunden), so dass es zu langen Einstauzeiten kommt. Die Einleitung erfolgt in die Erft und deren Nebengewässer, die unterschiedlich sensibel auf Mischwassereinleitungen reagieren.

Für die Abflusssteuerung wurden in der ersten Projektphase 10 Becken mit einem Gesamtspeichervolumen von ca. 37.600 m<sup>3</sup> ausgewählt, die mit ihren Kenndaten in der Tabelle 3-1 zusammengestellt sind. Hauptkriterien für die Auswahl der Becken waren sowohl die Lage im Netz, das Speichervolumen und die bereits vorhandene technische Ausrüstung.

Die Netzanzeige für das Einzugsgebiet Kenten wurde Mitte 2011 bzw. für die Steuerung aktualisiert Mitte 2015 vorgelegt. Das Fließschema ist in Anlage 1 dargestellt.

**Tabelle 3-1: Kenndaten der steuerwürdigen Becken**

| Nr.   | Bezeichnung               | RÜB Volumen    |                |                |                | Gesamt Volumen | Q <sub>ab</sub> ungesteuerter Zustand |
|-------|---------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------------------|
|       |                           | KSR            | Becken 1       | Becken 2       | Erd-becken     |                |                                       |
|       |                           | m <sup>3</sup> | l/s                                   |
| 99    | RÜB Gew. Türnich (7609)   | 1.285          |                |                |                | 1.285          | 63                                    |
| 130   | RÜB / PW Thorr            |                | 310            |                |                | 310            | 110                                   |
| 218   | RÜB Kenten                |                | 1.434          | 2.264          |                | 3.698          | 621                                   |
| 218   | RBF Kenten                |                | 4.194          |                |                | 4.194          | 60                                    |
| 492   | RÜB Ahestr.               | 2.675          | 1.121          |                |                | 3.796          | 25                                    |
| 625   | RÜB Horrem                | 143            | 1.374          | 1.365          |                | 2.882          | 74                                    |
| 628   | RÜB Zum Parring, Mödrath  | 329            | 1.624          | 1.611          | 3.260          | 6.824          | 99                                    |
| 629   | RÜB Kölnerstr.            | 1.284          | 1.000          | 1.002          |                | 3.286          | 130                                   |
| 633   | RÜB Türnich               | 190            | 992            | 992            | 1.514          | 3.688          | 145                                   |
| 635   | RÜB Hüttengraben, Sindorf | 4.177          | 1.857          | 1.181          |                | 7.215          | 99                                    |
| 646   | RÜB Im Rauland            | 497            |                |                |                | 497            | 68                                    |
| Summe |                           |                |                |                |                | 37.675         |                                       |

### 3.2 Niederschlagsdaten

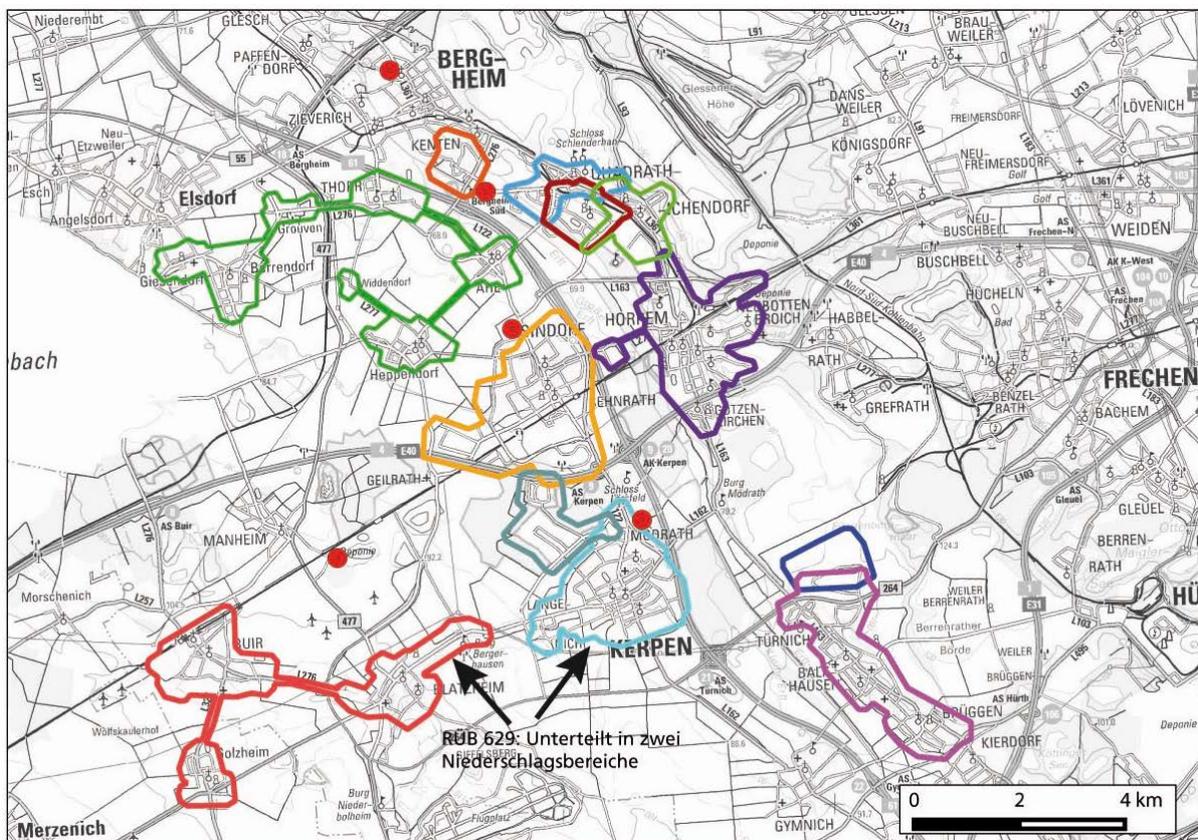
Für die Abflusssteuerung in Kenten wird der Zufluss zum Kanalnetz aus online bereitgestellten Radardaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) berechnet. Der DWD erzeugt aus den Messungen der einzelnen Radarstandorte deutschland- bzw. europaweite Komposite mit unterschiedlichen zeitlichen und räumlichen Auflösungen und Verarbeitungsschritten. Verwendet werden die folgenden Produkte:

- RY: Qualitätsgeprüfte, in Niederschlagshöhen umgerechnete Radardaten mit räumlicher Auflösung 1 x 1 km und zeitlicher Auflösung 5 Minuten, ohne Aneichung mit Stationen

- RQ: Radar-Vorhersagen für die nächsten zwei Stunden, räumliche Auflösung 1 x 1 km, zeitliche Auflösung 1 Stunde, Aktualisierung alle 15 Minuten.

Für die weitergehende Niederschlagsvorhersage werden die Daten des DWD – Modells COSMO-DE (räumliche Auflösung 2,8 x 2,8 km, zeitliche Auflösung 1 Stunde, Vorhersagedauer 27 Stunden, Aktualisierung alle drei Stunden) herangezogen.

Für jedes RÜB – Einzugsgebiet (Bild 3-2) werden die Radardaten flächengewichtet gemittelt und eine Zeitreihe aus RY und RQ Daten gebildet, die mit COSMO-DE Daten verlängert wird. Durch diese Methode der Niederschlags einbindung ist es möglich, eine realitätsnahe ungleichmäßige Überregnung über das Einzugsgebiet abzubilden. Diese hat sich im Projekt als besser geeignet für die Zuflussprognose erwiesen als die Daten der fünf stationären Regenschreiber.



**Bild 3-2:** Zuordnung der Radardaten zu den Regenbecken im Einzugsgebiet des Klärwerks Kenten im 1 x 1 km Radargitter (Erftverband 2016). Rote Punkte sind Niederschlagsstationen, die zur Plausibilisierung herangezogen werden können.

Die generierten Niederschlagsreihen haben eine zeitliche Auflösung von einheitlich 15 Minuten, die automatisiert alle 6 min. bereitgestellt und im Modell HEC-HMS für eine Zuflussprognose alle 15 min. verarbeitet werden (siehe Abschnitt 4.3).

### 3.3 Technische Ausrüstung

Für die Umsetzung der Abflusssteuerung im Netz Kenten waren einige steuerungsbedingte Ergänzungen notwendig. So wurde die technische Ausrüstung im Netz erweitert, die fernwirktechnische Anbindung ergänzt und die Anbindung an das Steuerungssystem realisiert. Des Weiteren wurden Datenbanken zur Erfassung, Verarbeitung und Archivierung der Daten erstellt und untereinander verknüpft bzw. wurde eine Schnittstelle zum WinCC-System des Ertfverbands eingerichtet.

Die zu steuernden Betriebsstellen wurden ab dem Frühjahr 2013 fernwirktechnisch an das Betriebsdatenerfassungs- und Störmeldesystem des Ertfverbands (BDS) angebunden. Im Einzelnen waren dies folgende Betriebsstellen:

- RÜB Kenten auf der Kläranlage (218)
- RBF Kenten (682)
- RÜB Im Rauland (646)
- RÜB Ahestraße (492)
- RÜB Hüttengraben (635)
- RÜB Horrem (625)
- RÜB Zum Parrig (628)
- RÜB Kölnerstr., Kerpen-Süd (629)
- RÜB Türnich (633)
- RÜB Sandstraße (491)
- RÜB Gewerbegebiet Türnich (7609) (Betreiber der Anlage ist die Stadt Kerpen)

Gleichzeitig wurden die softwaretechnischen Anpassungen an den Automatisierungsgeräten für eine spätere Steuerung durch das Steuerungssystem SIWA SEWER vorgenommen.

Folgende messtechnische Erneuerungen und Erweiterungen wurden u.a. auf den Betriebsstellen umgesetzt:

- RÜB Kenten (218): Änderung der Abschlagskante, sowie Anpassung der beiden Niveaumessungen zur Abschlagsmengenmessung (Bild 3-3).
- RÜB Zum Parrig, Mödrath (628): Einrichtung einer Mengenmessung und einem Schieber zur Erfassung und Regelung der ankommenden Abwassermenge vom RÜB Kölnerstr., Kerpen-Süd (629) (Bild 3-5, Bild 3-6).
- RÜB Sandstraße (491): Einrichtung einer Niveaumessung inklusive Photovoltaikmodul und Datalogger zum stromautarken Betrieb

- Verbindungssammler Mödrath – Kenten, Höhe Kerpen Sandstraße (139\_1): Einrichtung einer Niveaumessung inklusive Photovoltaikmodul und Datalogger zum stromautarken Betrieb (Bild 3-4)
- Verbindungssammler Mödrath – Kenten, Höhe Kerpen Zum Parrig (139\_2): Einrichtung einer Niveaumessung inklusive Akkumodul und Datalogger zum stromautarken Betrieb.

Auch wurden während dieser Zeit Anpassungen für den im Sommer 2014 begonnenen „un-gesteuerten Betrieb“ des Netzes im Rahmen des F&E-Projekts vorgenommen.

Die schematische Übersicht (Bild 3-8) zeigt die Betriebsstellen im Einzugsgebiet des Gruppenklärwerks Kenten mit den Volumina und Weiterleitungsmengen.



**Bild 3-3: Anpassung Abschlagskante**



**Bild 3-4: Einrichtung Durchflussmessung**



**Bild 3-5: Nachrüstung Schieber (1)**



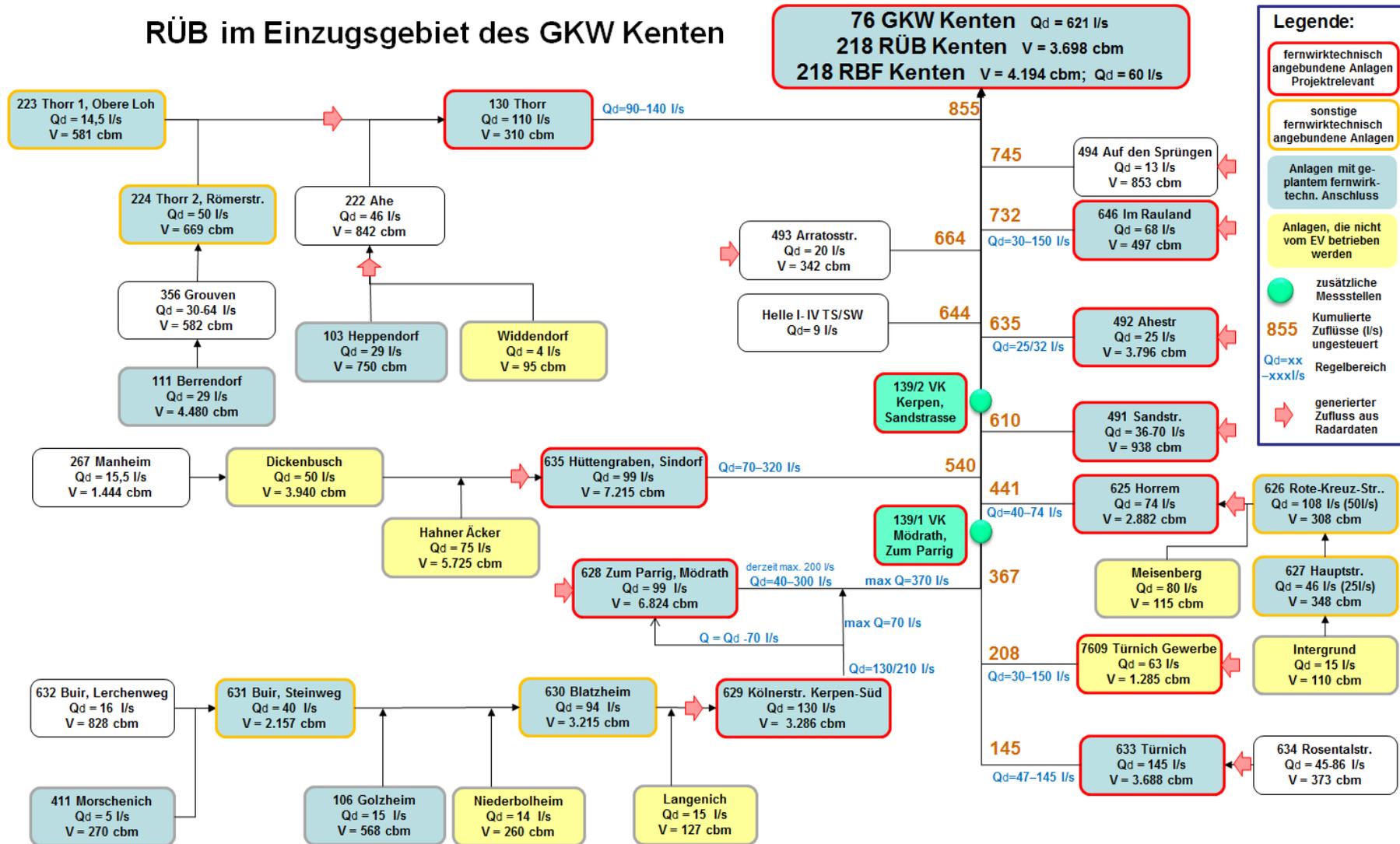
**Bild 3-6: Nachrüstung Schieber (2)**



**Bild 3-7: Einrichtung eines Photovoltaikmoduls**



Bilder: Ertfverband 2015



**Bild 3-8:** Schematische Übersicht des Kanalnetzes Kenten mit Kennzeichnung der fernwerktechnisch angebotenen Anlagen und Markierung der Punkte, für die der Zufluss mittels HEC-HMS aus Radardaten berechnet wird

## **4 Abflusssteuerung im Netz Kenten**

### **4.1 Ziele**

Das Hauptziel der Abflusssteuerung in Kenten ist die Reduzierung der Entlastungsmenge im Netz Kenten und damit die positive Beeinflussung der Gewässergüte. Damit verbunden ist eine optimierte Weiterleitung zum Klärwerk Kenten und eine hohe Auslastung des Retentionsbodenfilters Kenten (RÜB + RBF).

Ein weiteres Ziel ist die Prüfung von Standardisierungsmöglichkeiten für die Planung und Umsetzung einer Abflusssteuerung. Durch den Einsatz eines aus Modulbausteinen aufgebauten Systems ist die Möglichkeit der Erweiterung und Übertragbarkeit auf andere Netze gegeben. Dadurch lässt sich der Aufwand (Zeit- und Kosten) reduzieren und somit das Interesse an einer Abflusssteuerung steigern, um sie in zukünftigen Projekten als Lösungsvariante in die Planung einzubeziehen.

### **4.2 Umsetzung der Abflusssteuerung in Kenten**

Für die Abflusssteuerung in Kenten wurden technische Anpassungen im Netz vorgenommen, die fernwirktechnische Anbindung ergänzt und die Anbindung an das Steuerungssystem realisiert (siehe Abschnitt 3.3). Des Weiteren wurden Datenbanken zur Erfassung, Verarbeitung und Archivierung der Daten erstellt und untereinander verknüpft bzw. wurde eine Schnittstelle zum WinCC-System des Ertfverbands eingerichtet.

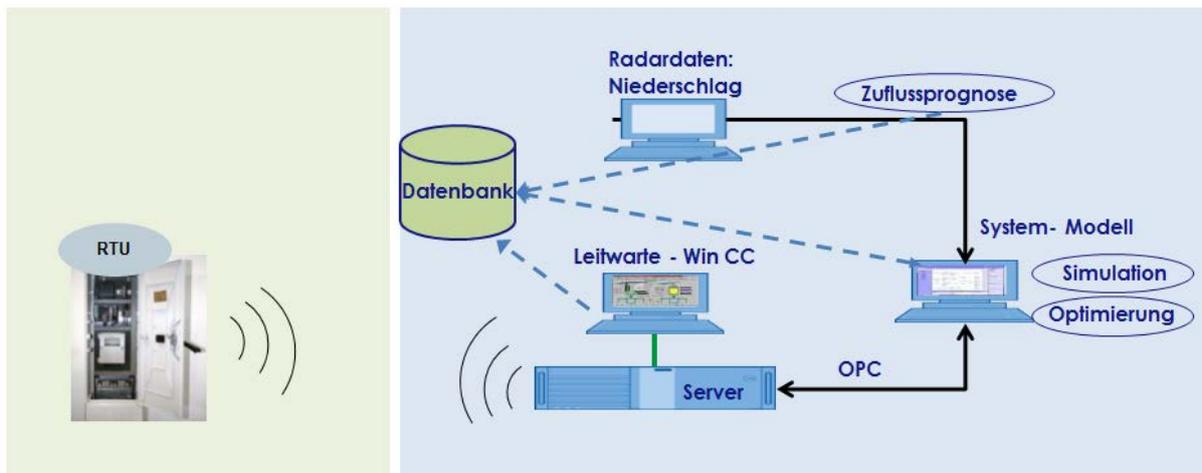
Zentrale Komponenten der Abflusssteuerung sind die Zuflussprognose (Abschnitt 4.3) und das Steuerungsmodell (Abschnitt 4.4.1). Die Verknüpfung der Komponenten über die wesentlichen Schnittstellen

- Radardaten – Zuflussprognosemodell – Steuerungsmodell und
- Prozessdaten – Steuerungsmodell

ist in Bild 4-1 dargestellt. Die Schnittstellendefinition erwies sich als sehr komplex und erforderte mehrere Anpassungen. Darüber hinaus wurde eine Ausfallstrategie (siehe Abschnitt 5) entworfen und softwaretechnisch umgesetzt. Diese greift, wenn Fehler in den Schnittstellen bzw. in der Messtechnik auftreten und nicht alle Komponenten im gesteuerten Regelbetrieb gefahren werden können.

Station:  
Steuer- u. Messtechnik

Zentrale:  
Leitsystem, Steuersoftware



**Bild 4-1: Schnittstellen zwischen Modellen und Datenbanken**

## 4.3 Zuflussprognose mit HEC-HMS

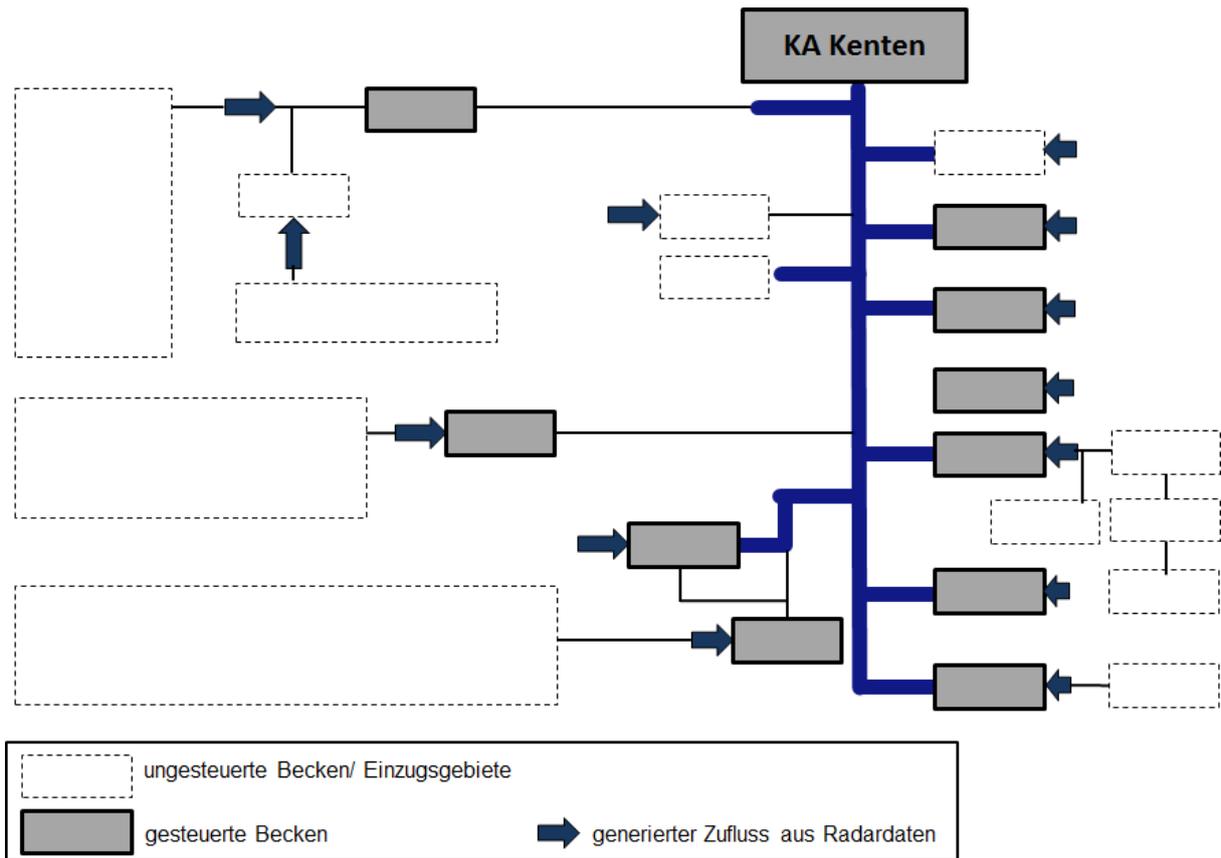
### 4.3.1 Modell und Eingangsdaten

Der Zufluss zum Kanalnetz Kanten wird aus online gemessenen Niederschlags-Radardaten generiert (siehe Abschnitt 3.2). Die Niederschlagsdaten werden automatisiert bereitgestellt und alle 15 min. im Modell HEC-HMS verarbeitet. Das Modell HEC-HMS ist ein frei verfügbares hydrologisches Simulationsmodell, in welchem die Abflussbildung aus dem Niederschlag unter Berücksichtigung von Gebietsrückhalt berechnet wird. Der Abflusstransport in den Verbindungssammlern wird als reine Translation beschrieben.

Das Modell HEC-HMS wurde für das EZG Kanten aufgestellt und die Abflüsse in einem ersten Schritt an dem vorliegenden Modell MOMENT kalibriert. Anschließend wurde eine Kalibrierung des Modells HEC-HMS anhand ausgewählter Regenereignisse und gemessener Abflüsse vorgenommen (Abschnitt 4.3.2).

Darüber hinaus wurden die Laufzeitparameter des Programms optimiert und die Simulation des Netzes mit historischen Regendaten als „Vorlaufzeit“ für den aktuellen Füllzustand des Netzes auf drei Tage verkürzt. In Kombination mit einer Aufstockung der Hardware können damit nun alle 15 min. aktualisierte Zuflusswellen zum Kanalnetz bereitgestellt werden.

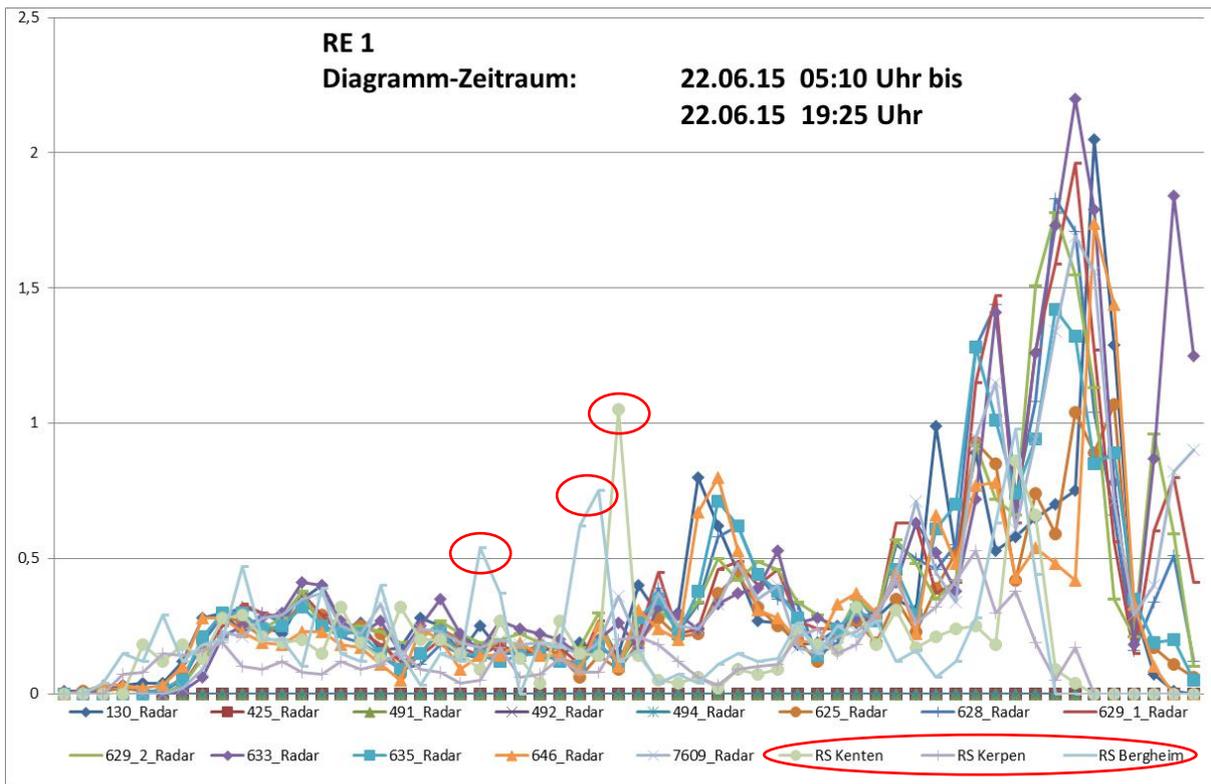
Der Zufluss zum Kanalnetz wird für 13 ausgewählte Punkte berechnet (Bild 4-2) und als Eingangsdaten an das Steuerungstool SIWA SEWER übergeben. Die Trockenwetterzuflüsse sind als 24h-Mittel aus den Teileinzugsgebieten im Modell abgebildet.



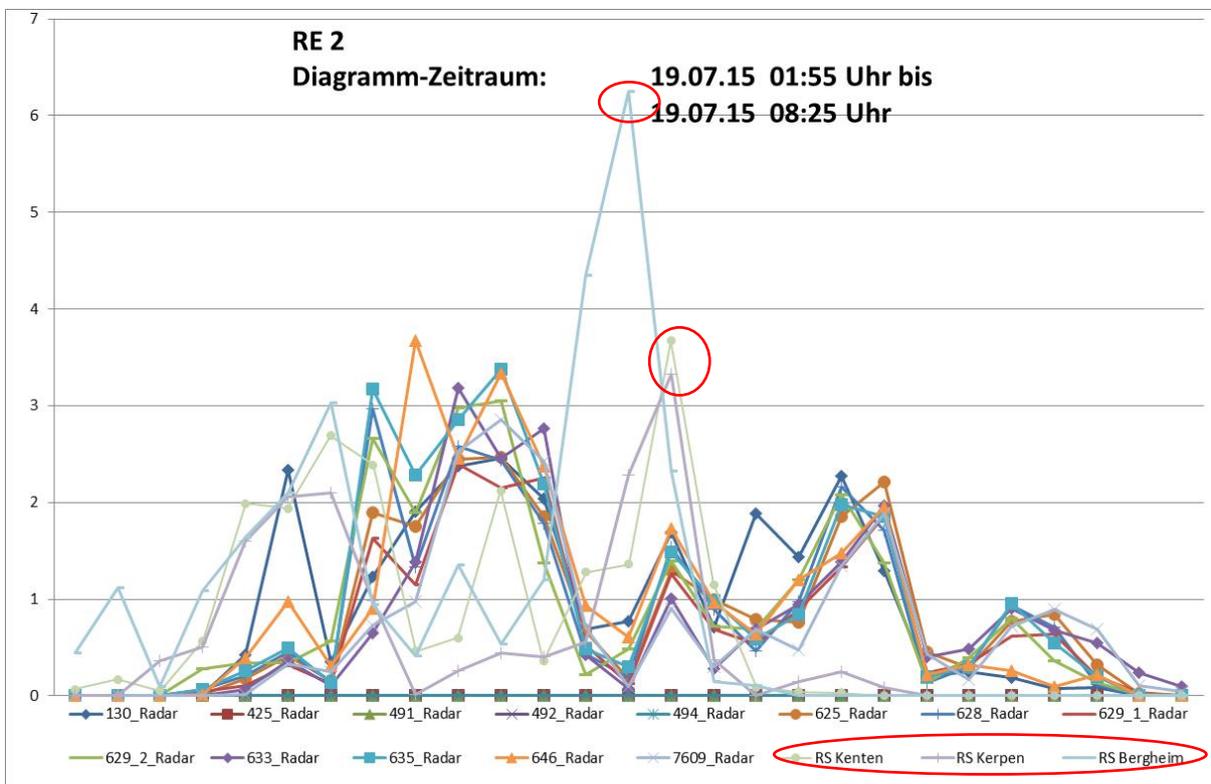
**Bild 4-2:** Schematische Darstellung des Kanalnetzes mit Lage der gesteuerten Becken und Übergabepunkten der generierten Zuflüsse

#### 4.3.2 Kalibrierung des Modells HEC-HMS

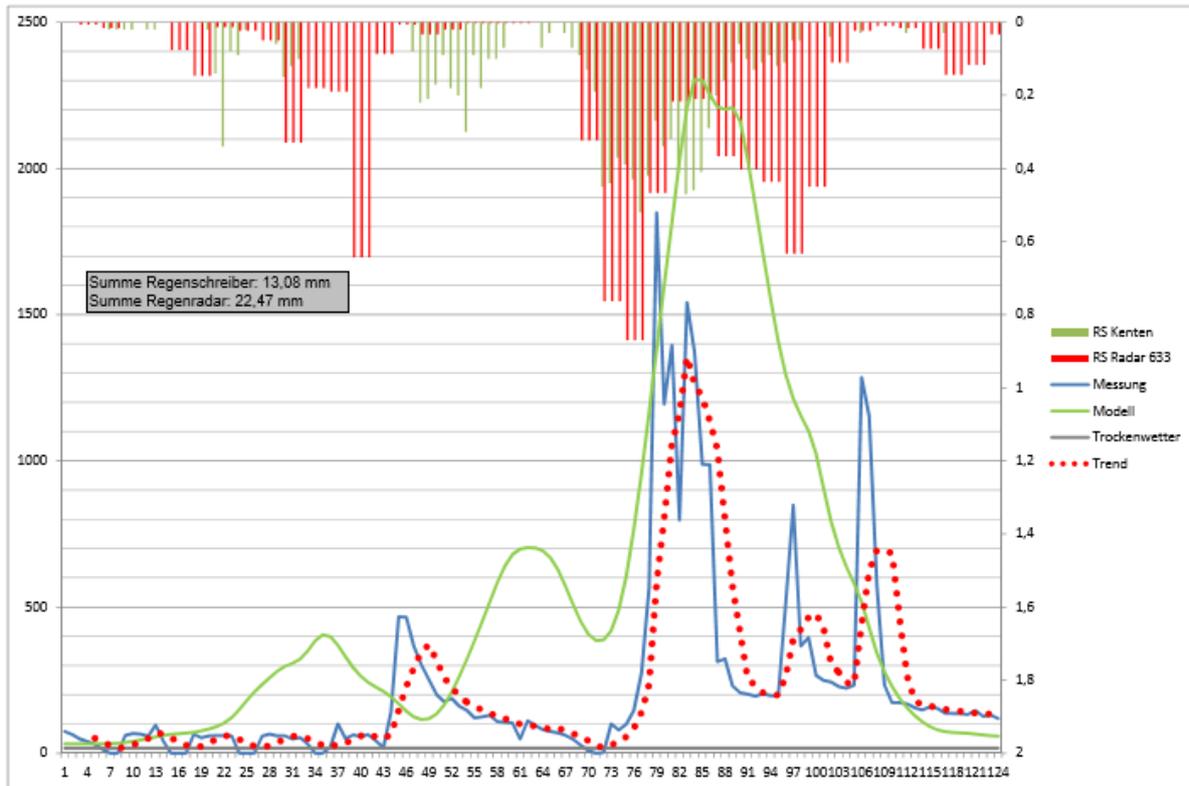
Dem gesteuerten Betrieb in Kanten ging ca. ein Jahr ungesteuerter Betrieb mit Datenaufnahme, -auswertung und -plausibilitätsprüfung voraus. In dieser ungesteuerten Betriebsphase wurde das Modell HEC-HMS anhand von fünf ausgewählten Regenereignissen und zugehörigen Abflussmessungen kalibriert. Als Regendaten waren die Niederschlagsmessungen von drei Regenschreiberstationen, Bergheim, Kanten und Kerpen sowie Radarmessdaten für das Einzugsgebiet jedes einzelnen RÜB verfügbar. Anhand der Regendaten war bereits zu erkennen, dass sich die Radardaten und Regenschreiberdaten teilweise deutlich im Verlauf, in der Abflussspitze und im Volumen unterscheiden, wie die Beispiele für die ausgewählten Regenereignisse 1 und 2 zeigen (Bild 4-3, Bild 4-4). Die Regenschreiberdaten waren für die großflächige Kalibrierung nicht geeignet. Das Modell wurde anhand der RÜB-spezifischen Radardaten kalibriert.



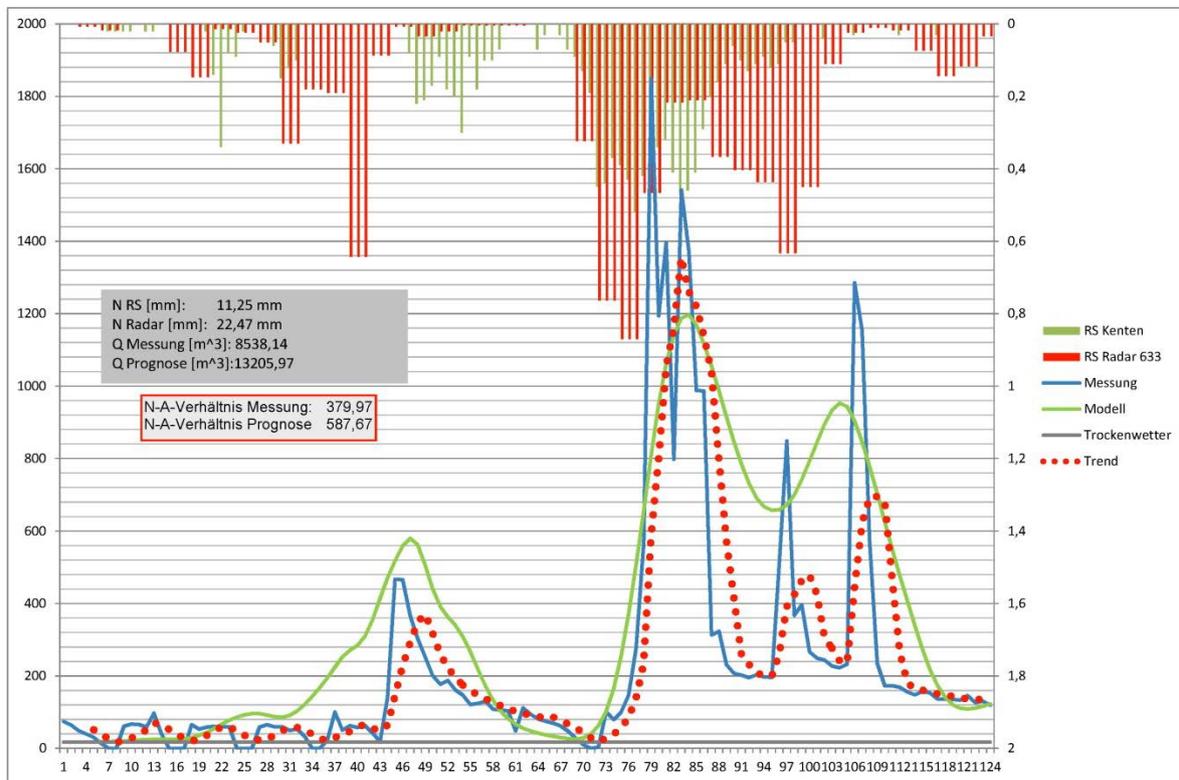
**Bild 4-3:** Verlauf der Radardaten für jedes einzelne RÜB (Kurvenschar) und der Regenschreiberdaten (rot markiert) für Regenereignis 1



**Bild 4-4:** Verlauf der Radardaten für jedes einzelne RÜB (Kurvenschar) und der Regenschreiberdaten (rot markiert) für Regenereignis 2



**Bild 4-5: Messung (blau bzw. rot) und Modellergebnisse (grün) und Niederschlagsdaten (Ereignis 3) für RÜB 633 vor der Kalibrierung**



**Bild 4-6: Messung (blau bzw. rot) und Modellergebnisse (grün) und Niederschlagsdaten (Ereignis 3) für RÜB 633 nach der Kalibrierung**

Mit der Kalibrierung konnte für alle Becken erreicht werden, dass der zeitliche Verlauf der fünf Niederschlagsereignisse mit den zugehörigen Abflusskurven für alle Becken übereinstimmte. Zusätzlich gab es in den meisten Fällen eine gute Übereinstimmung in den Abflussspitzen und im Abflussvolumen zwischen Modell und Realität. Im Anhang sind beispielhaft die Mess- und Abflusskurven nach der Kalibrierung für das RÜB 633 für die fünf Regenergebnisse dargestellt.

Um den Einfluss der Zuflussprognose auf die Steuerentscheidungen und damit die erforderliche Genauigkeit des Modells abzuschätzen wurde eine Sensitivitätsuntersuchung durchgeführt (Abschnitt 7.3).

## **4.4 Steuerung und Simulation des Netzes mit SIWA SEWER**

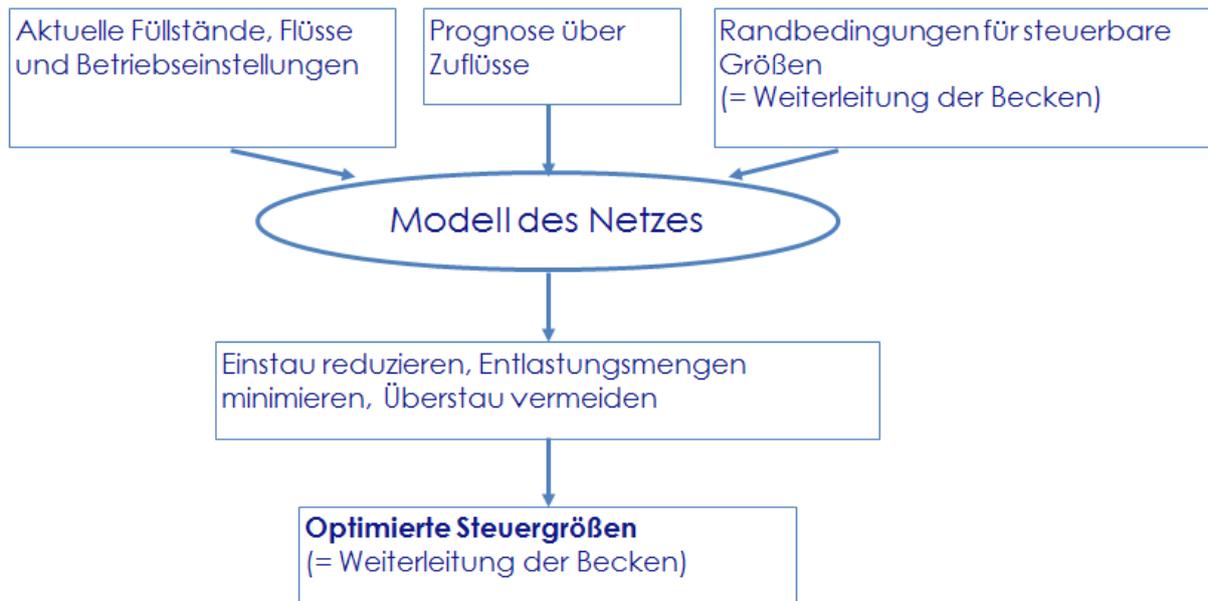
### **4.4.1 Simulationsmodell und Steuerungstool**

Als Simulationsmodell und Steuerungstool wird in Kanten SIWA SEWER eingesetzt, welches ein simulations- und optimierungsbasiertes Assistenz- und Steuerungssystem der Firma Siemens zum verbesserten Kanalnetzbetrieb ist. Eine ausführliche Beschreibung von SIWA SEWER ist im Abschlussbericht der ersten Projektphase enthalten.

Für die Abflusssteuerung in Kanten wurde das System so konfiguriert, angepasst und erweitert, dass es folgende Funktionalitäten bietet:

- Berechnung optimierter Steuereingriffe
- Betriebsbegleitende Simulation der Vorgänge im Netz bei Umsetzung der optimierten Steuereingriffe
- Betriebsbegleitende Simulation der Vorgänge im Netz bei Defaultbetrieb.

Im SIWA SEWER werden die aus Regenradardaten berechneten Zuflussprognosen aus dem Programm HEC-HMS sowie die Prozessdaten (insbesondere Flüsse und Füllstände der RÜB) online aus der Leittechnik von der Anlage Kanten übernommen. Aus diesen Informationen werden zum einen Flüsse im Netz für den aktuellen Zeitpunkt und für zukünftige Zeitpunkte berechnet sowie optimale Steuerentscheidungen (Einstellung der Pumpen und Drosselorgane) durch Lösen eines nichtlinearen Optimierungsproblems ermittelt Bild 4-7.



**Bild 4-7: Eingangsgroßen für die Simulation mit SIWA SEWER und Ergebnisse**

SIWA SEWER ist modular aufgebaut: Das Anlagenmodell wird aus wiederverwertbaren Bibliothekskomponenten zusammengestellt, Funktionalitäten können ausgewählt, konfiguriert und kombiniert werden. So wird eine Erweiterung bzw. Übertragung auf andere Netze mit möglicherweise anderen funktionalen Anforderungen erleichtert.

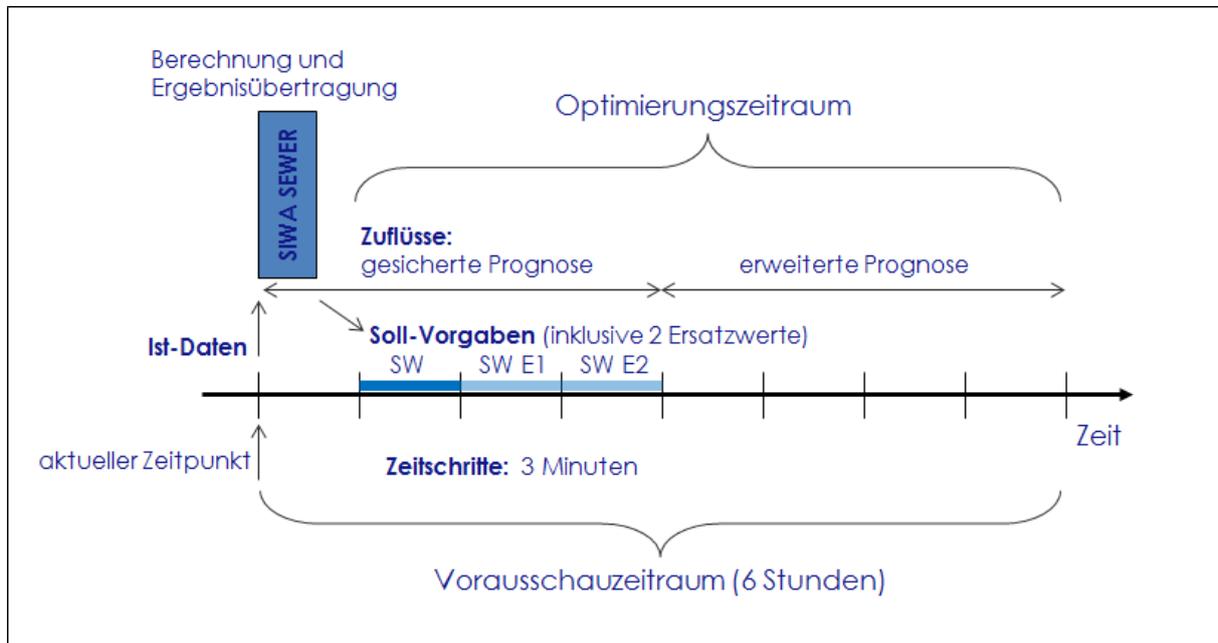
Die im Anlagenmodell verwendeten Bibliothekskomponenten umfassen im Wesentlichen

- Kanäle mit parametrierbarem Querschnittsprofil und Gefälle
- Rückhaltebauwerke mit parametrierbarem Volumen, Abschlagskanten und Entleerung (mittels Pumpen oder Schiebern)
- Überläufe (Überfallkanten)
- Parametrierbare Pumpen und Absperrschieber
- Quellen (Zuläufe) und Senken (Abläufe)

Mögliche Steuerentscheidungen werden im Modell durch die Weiterleitungsmengen an den Rückhaltebauwerken abgebildet. Die Rückhaltebauwerke können dabei so parametriert werden, dass sie entweder auf Defaultbetrieb stehen (maximale Weiterleitungsmenge per Default vorgegeben) oder dass deren Weiterleitungsmenge optimiert wird.

Die Berechnung der optimierten Steuerentscheidung wird in Kanten alle drei Minuten und mit rollendem Zeithorizont durchgeführt. Dies bedeutet, dass jeder Optimierungslauf über einen Vorausschauzeitraum von aktuell sechs Stunden berechnet wird (Bild 4-8). Im regulären Betrieb wird jeweils das erste Zeitfenster des aktuellsten Optimierungsergebnisses (Sollwert 1) an die Anlage weitergegeben. Weitere Zeitfenster des aktuellsten Optimierungsergebnisses (Sollwerte 2 und 3) dienen als Ersatzwerte, wenn die Ausfallstrategie Anwendung findet.

Die Größe und Anzahl der Zeitfenster können als Parameter der Optimierung vom Anwender gesetzt werden und richten sich unter anderem nach den Fließ- und Entleerungszeiten im betrachteten Gebiet.



**Bild 4-8: Prinzip der Berechnung mit rollendem Zeithorizont (beispielhaft für einen Vorausschauzeitraum von 6 Stunden und einer Neuberechnung alle 3 Minuten)**

In die Modellrechnung des aktuellen Zustands und die Vorausschau auf die folgenden sechs Stunden gehen die verfügbaren Messungen aus dem Netz ein.

- Die gemessenen, aktuellen Weiterleitungen und Entlastungen aus den Bauwerken sowie die gemessenen, aktuellen Füllstandsänderungen in und vor den Bauwerken (d.h. samt Kanalstauraum) werden bilanziert für eine Schätzung des aktuellen Zuflusses zum Bauwerk. Zusammen mit den Ergebnissen der Modellrechnung aus dem vorherigen Zeitschritt kann so im Modell der aktuelle Zeitschritt berechnet und der Modellzustand des Gesamtsystems auf den gemessenen Zustand aktualisiert werden.
- Für den Vorausschauzeitraum von sechs Stunden dienen dem Modell die aus Rardaten berechneten Zuflussprognosen als Input.



der Wichtungsfaktor ist, desto höher ist die Steuerungspriorität zur Vermeidung eines Beckenüberlaufs bzw. eines Beckeneinstaus.

**Tabelle 4-1: Mögliche Drosselwassermengen für die gesteuerten Becken im ungesteuerten und im gesteuerten Betrieb**

| Nr. | Bezeichnung               | $Q_{ab}$<br>ungesteuerter<br>Zustand | $Q_{ab}$ gesteuerter Zustand |                     |                        |
|-----|---------------------------|--------------------------------------|------------------------------|---------------------|------------------------|
|     |                           |                                      | Stufe 1;<br>TW1              | Stufe 2;<br>TW 1, 2 | Stufe 3;<br>TW 1, 2, 3 |
|     |                           |                                      | l/s                          | l/s                 | l/s                    |
| 99  | RÜB Gew. Türnich (7609)   | 63                                   | 30 - 150                     |                     |                        |
| 130 | RÜB / PW Thorr            | 110                                  | 90 - 110                     | 110 - 140           |                        |
| 218 | RÜB Kenten                | 621                                  |                              |                     |                        |
| 218 | RBF Kenten                | 60                                   |                              |                     |                        |
| 492 | RÜB Ahestr.               | 25                                   | 25                           | 32                  |                        |
| 625 | RÜB Horrem                | 74                                   | 40 - 74                      |                     |                        |
| 628 | RÜB Zum Parrig, Mödrath   | 99                                   | 40 - 100                     | 150 - 200           |                        |
| 629 | RÜB Kölnerstr.            | 130                                  | 130                          | 210                 |                        |
| 633 | RÜB Türnich               | 145                                  | 47 - 80                      | 97 - 145            |                        |
| 635 | RÜB Hüttengraben, Sindorf | 99                                   | 70 - 140                     | 160 - 230           | 250 - 320              |
| 646 | RÜB Im Rauland            | 68                                   | 30 - 150                     |                     |                        |

Für den Fall, dass aufgrund von Störungen aus dem gesteuerten in den ungesteuerten Zustand gefahren wird, werden die Drosseln auf die genehmigten Drosselwassermengen des ungesteuerten Zustands geregelt.

#### 4.4.3 Steuerungsalgorithmus

Der Steuerungsalgorithmus für das Netz Kenten basiert auf der Lösung eines nichtlinearen Optimierungsproblems mit Gleichungs- und Ungleichungsnebenbedingungen. Grundlage für die Berechnung der optimalen Steuerentscheidungen ist die Minimierung einer Zielfunktion.

Die Zielfunktion besteht aus mehreren Termen entsprechend der unterschiedlichen Bauwerke und der berücksichtigten Zielvorgaben (Entlastungsmenge minimieren, Einstau reduzieren, Überstau im Sammler vermeiden, Entleerung beschleunigen). Über Wichtungsfaktoren, die als Multiplikator in den verschiedenen Termen stehen, werden unterschiedliche Ziele in unterschiedlichen Bauwerken priorisiert. In Kenten wurden der Beckeneinstau, der Beckenüberlauf der einzelnen RÜB sowie der Überstau im Hauptsammler gewichtet. In die Festlegung der Wichtungsfaktoren gehen zudem das Mischungsverhältnis (TW zu RW) sowie das aufnehmende Gewässer mit ein.

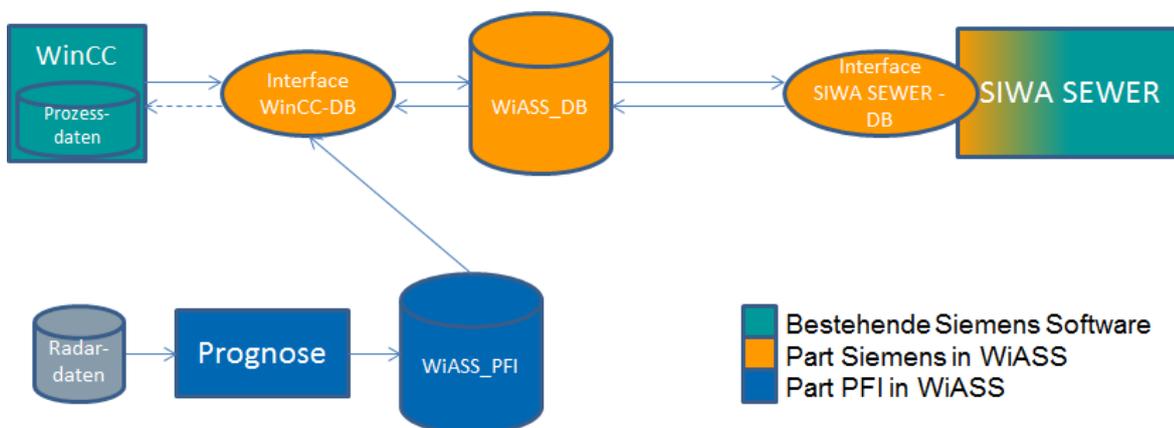
Die einzelnen Wichtungsfaktoren können auch nach Inbetriebnahme der Steuerung noch angepasst werden, wenn sich Prioritäten verschieben. Auch in Kanten wurden einige Faktoren angepasst, um den gesteuerten Betrieb zu optimieren. Das Grundprinzip ist dabei, dass die Priorität einer Variablen mit steigendem Wichtungsfaktor zunimmt, da die Lösung der Zielfunktion in ihrer Minimierung besteht. Die Herleitung der Wichtungsfaktoren ist im Abschlussbericht der ersten Projektphase ausführlich behandelt, die aktuellen Wichtungsfaktoren für Einstau und Überstau der Becken sind in Anlage 2 zusammengestellt.

Nebenbedingungen werden über Gleichungen und Ungleichungen im Optimierungsproblem berücksichtigt. Hierzu zählen neben dem gesamten hydraulischen Verhalten (z.B. Fließzeiten) des Systems insbesondere vorgegebene hydraulische Kapazitäten von Transportsammeler und Kläranlage, technisch einstellbare Drosselbereiche und Fördermengen, sowie gegebene Betriebsweisen von Sonderbauwerken wie dem RBF Kanten.

#### 4.4.4 Datenerfassung und -archivierung

Für die Kanalnetzsteuerung in Kanten wurden Datenbanken zur Erfassung, Verarbeitung und Archivierung der Daten erstellt und untereinander verknüpft bzw. wurde eine Schnittstelle zum WinCC-System des Ertftverbands eingerichtet.

Die Hauptdatenbank – im Folgenden WiASS-DB genannt – speichert alle relevanten Daten für die Steuerung, wie Prozessdaten und Betriebsmeldungen aus dem WinCC, Daten aus der Zuflussprognose (aus WiASS-PFI), Daten aus dem Steuerungsrechner (Sollwerte, Modellergebnisse zum Vergleich mit gemessener Realität, usw.). Die zentrale Position der WiASS-DB ist in Bild 4-9 bzw. Bild 4-1 dargestellt.



**Bild 4-9: Zentrale Datenbank WiASS-DB und Realisierung der Schnittstellen zwischen Modellen und Datenbanken im Projekt**

Die WiASS-DB enthält zahlreiche Tabellen, in denen die Variablen mit Zeitstempel und Wert und ggf. weiterer Information (Störungsmeldung o.ä.) abgelegt werden. Für die Beurteilung der Steuerung sind im Wesentlichen folgende Daten relevant:

- Messwerte der Entlastungsmengen an den gesteuerten Becken: die Entlastungsmengen werden an allen gesteuerten Becken separat erfasst. Bei einigen Becken ergibt sich die Gesamt-Entlastungsmenge aus der Summe mehrerer Einzelmessungen.
- Entlastungsmengen während des gesteuerten Betriebs: Dem gesteuerten Betrieb liegt ein Optimierungsmodell zugrunde, welches die Informationen aus dem Netz verarbeitet und optimierte (Drossel-)Einstellungen berechnet, die als Steuerbefehle an die RÜB gegeben werden. Ist die Steuerung aktiv, sollten die gemessenen und die optimiert berechneten Entlastungsmengen weitgehend übereinstimmen. Die Messgenauigkeit von Entlastungsmengemessungen ist dabei zu berücksichtigen.
- Entlastungsmengen, die sich im ungesteuerten Betrieb ergeben (würden): Der ungesteuerte Betrieb wird durch ein Simulationsmodell „mitsimuliert“. Die Simulation des ungesteuerten Betriebs war ursprünglich zur Quantifizierung des Steuererfolgs vorgesehen, indem die ungesteuerten und gesteuerten Entlastungsmengen verglichen werden. Durch verschiedene Modellanpassungen und Betriebsoptimierungen kann derzeit die betriebsbegleitende Simulation den Defaultbetrieb nur bedingt wiedergeben. Der ungesteuerte Zustand wird daher jetzt mit den originalen Daten mit einem für den Defaultbetrieb angepassten Modell offline nachsimuliert.
- Betriebsmeldungen der Becken: Damit ein Becken tatsächlich gesteuert wird, müssen verschiedene Voraussetzungen erfüllt sein. Dazu gehören z.B. eine Zuflussprognose mit ausreichender Genauigkeit (d.h. Aktualität), das Vorliegen der entsprechenden Messwerte (Drosselwassermenge, Füllstand im Becken, Entlastungsmenge), ungestörte Verbindungen zwischen den verschiedenen Rechnern/Stationen usw. Diese Voraussetzungen werden geprüft und verarbeitet und führen schließlich dazu, dass das Becken eine Steueraufforderung erhält (Becken aktiv) oder nicht erhält (Becken nicht aktiv). Der Zustand (aktiv oder nicht aktiv) resultiert dann in einer Betriebsmeldung an das Leitsystem. In der Tabelle der Betriebsmeldungen sind die Meldungen zusammengestellt, ob das Becken aktiv gesteuert wurde oder nicht.
- Niederschlagsdaten: Niederschlagsdaten werden im Projekt als Online- Radar-Daten für die Zuflussprognose verarbeitet. Die Online-Daten werden dem Erftverband in verschiedenen Produkten vom DWD bereitgestellt. Daraus werden für jedes gesteuerte Becken alle 6 Minuten neue Radardaten zusammen- und bereitgestellt (Messwerte und Prognosedaten). Diese werden nach der Verarbeitung in einer separaten Archivdatei gesichert.

## 4.5 Optimierungen und Anpassungen im Modell und Netz

Dem gesteuerten Betrieb in Kenten ging ca. ein Jahr ungesteuerter Betrieb mit Datenaufnahme, -auswertung und -plausibilitätsprüfung voraus. Als Ergebnis dieser Analyse wurden Anpassungen im Netz und im Modell vorgenommen, um die komplexe Verbundsteuerung optimal vorzubereiten. Beispiele für Anpassungen im ungesteuerten Betrieb waren:

- Optimierung der Messtechnik im Netz
- Überarbeitung der Schnittstellen (gleichzeitige Zugriffe auf Datenbanken)
- Anpassung der Datenbanken bzw. Datenarchivierung
- Kalibrierung der Zuflussprognose

Die Inbetriebnahme der aktiven Steuerung erfolgte ab Mitte Januar 2016, zunächst testweise tagsüber. Bis Mitte März wurden weitere Optimierungen vorgenommen. Seitdem läuft die Verbundsteuerung kontinuierlich störungsfrei. Ab Anfang Juli wurde der gesteuerte Betrieb noch einmal verbessert, indem die kontinuierliche Modelladaption erweitert wurde. Neben der Einhaltung der Gesamtwassermenge im System sind jetzt auch lokale, „virtuelle“ Verschiebungen von Wassermengen im System zur Anpassung an aktuelle Messwerte möglich.

Zur Veranschaulichung der Komplexität des Gesamtsystems und im Hinblick auf eine Übertragbarkeit der Steuerung in andere Netze, werden die wichtigsten vorgenommenen Optimierungen und Anpassungen im Folgenden stichwortartig genannt:

- Ergänzung einer Aktualitätsprüfung der bereitgestellten Online-Radarniederschlagsdaten und Einbindung in die Ausfallstrategie: Eine falsche Zuflussprognose aufgrund „veralteter“ Regendaten wird verhindert.
- Anpassung der Wichtungsfaktoren und zusätzliche Sicherheitseinstellung zur Begrenzung des maximalen Zuflusses zur Kläranlage: Der Steuerungsalgorithmus basiert auf der Lösung eines nichtlinearen Optimierungsproblems. Die Prioritäten für Steuerentscheidungen sind über Wichtungsfaktoren definiert, die durch Anpassung noch einmal verschoben wurden. Der Wichtungsfaktor „Überstau“ wurde so gesetzt, dass der Zufluss zur Kläranlage auf die maximale hydraulische Leistungsfähigkeit des Zulaufsammlers begrenzt wird. Als zusätzliche Sicherheit erfolgt eine Abschaltung der Steuerung über das Prozessleitsystem (PLS) falls die Summe der Drosselabflüsse zur Kläranlage ein vorgegebenes Maximum überschreitet.
- Anpassung der Ausfallstrategie (6-Stufen System)
- Anpassung von Modell und Realität durch Optimierung der Modellparameter
- Anschluss des Steuerungsrechners an die USV, um auch bei Stromausfall das System gesteuert fahren zu können.

- Ersatz der theoretischen Kenndaten der Pumpen im Netz durch in der Realität erreichte Betriebsdaten
- Abbildung komplexer, regelbasierter Entleerungssteuerungen aus nicht zu optimierenden Bauwerken durch einfaches, auf Mittelwerten basierendes Ersatzmodell
- Modelladaptation am Kläranlagenzulauf durch Einführung virtueller Zuflüsse
- Behebung von Programmfehlern
- Optimierung des Kanalnetzbetriebs durch bevorzugten Einsatz von Ultraschallsonden (Vereinfachung von Installation, Überprüfung und Instandhaltung gegenüber Drucksonden, daher Austausch, wo es sinnvoll ist).
- Erweiterte Modelladaptation an jedem gesteuerten Becken: durch Einführung virtueller Zu- und Abflüsse werden die Füllstände und Weiterleitungsmengen seit dem 01.07.16 auf die aktuellen Messwerte angepasst. Die Gesamtbilanz im Netz bleibt erhalten. Für niedrige und hohe Füllstände wird die Modelladaptation ausgesetzt. Durch diese Anpassung werden Fehler abgefangen, die dadurch entstehen, dass z.B. Sollwertvorgaben aus technischen Gründen (Leistung des Aggregats) nicht umgesetzt werden können.
- Sollwertvorgaben aus der Optimierung werden durch Nachverarbeitung geglättet, um häufige Pumpenschaltungen zu vermeiden.
- Erweiterung des Ausfallmechanismus zum Wiederaufbau der Verbindung zu WinCC nach Verlust der OPC-Connection ab Mitte Juli.
- Verbesserte Abbildung des RBF Kenten 218: Es wird statt einer vereinfachten Entleerung im Modell auf die reale Entleerung adaptiert.
- Anpassung von Wichtungsfaktoren
- Anpassung von Modell und Realität durch Optimierung von Modellparametern (abflusswirksame Fläche)

## 5 Risiko- und Störungsanalyse und Ausfallstrategie

### 5.1 Risiko- und Störungsanalyse

Die Abflusssteuerung funktioniert nur erfolgreich, wenn alle Komponenten (Messtechnik, Steuertechnik, Fernwirktechnik) gleichzeitig störungsfrei arbeiten und die Verbindung über die Schnittstellen gewährleistet ist.

Zu Beginn der Projektphase wurde für jedes zu steuernde Bauwerk in einer Risiko- und Störungsanalyse das Risiko für den Ausfall von Messtechnik, Steuertechnik und Fernwirktechnik eingeschätzt und dessen Auswirkungen auf den Kanal- und Kläranlagenbetrieb und das Gewässer bewertet. Diese Bewertung diente zur Einschätzung, ob die Steuerung des Netzes mit der vorhandenen Ausstattung sinnvoll ist bzw. an welchen Punkten durch geeignete Maßnahmen das Risikopotenzial gesenkt werden kann. Des Weiteren war die Analyse notwendig, um Maßnahmen für den Störfall zu formulieren, d.h. Handlungsanweisungen bzw. ein Abfangen von Fehlern mittels Software und für die Formulierung der Ausfallstrategie.

Das Risiko wurde für jedes einzelne Bauwerk bewertet. Mit dem umfangreichen Detailwissen des Betriebspersonals wurden dafür alle Anlagenteile in jedem Bauwerk belegt mit

- der Ausfallwahrscheinlichkeit (W) und
- der Bedeutung (B) im Falle eines Ausfalls für das lokale Steuerbauwerk, die Steuerzentrale, das Wasserrecht, den Kanalbetrieb/ Rückstau und das Gewässer.

Die Tabelle zur Risikobewertung für das RÜB 633 ist als Beispiel in Tabelle 5-1 dargestellt.

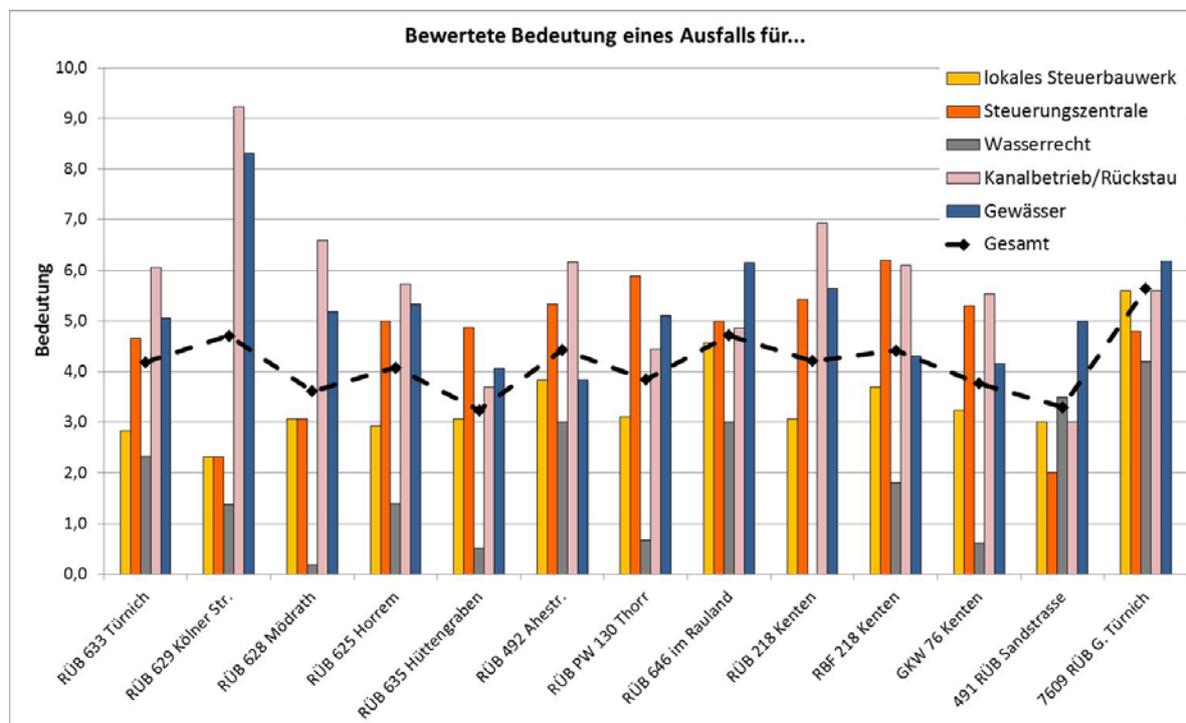
In der Spalte Ausfallwahrscheinlichkeit (W) wird jedes Anlagenteil mit einer Zahl von 1 bis 10 belegt, wobei die Wahrscheinlichkeit für einen Ausfall steigt, je größer die Zahl ist. Die Bedeutung (B) und damit die Auswirkung eines Ausfalls für z.B. das Steuerungsbauwerk, die Steuerzentrale oder das Gewässer wird ebenfalls mit einer Zahl von 1 bis 10 bewertet. Eine größere Zahl impliziert dabei eine größere Bedeutung.

Das Ergebnis der Bedeutung eines Ausfalls für die fünf Bereiche lokales Steuerbauwerk, Steuerzentrale, Wasserrecht, Kanalbetrieb und Gewässer ist für alle RÜB im Bild 5-1 zusammenfassend dargestellt. Aus diesem lassen sich z.B. sensible Punkte des Kanalnetzes ableiten.

**Tabelle 5-1: Tabelle zur Risikobewertung des RÜB 633**

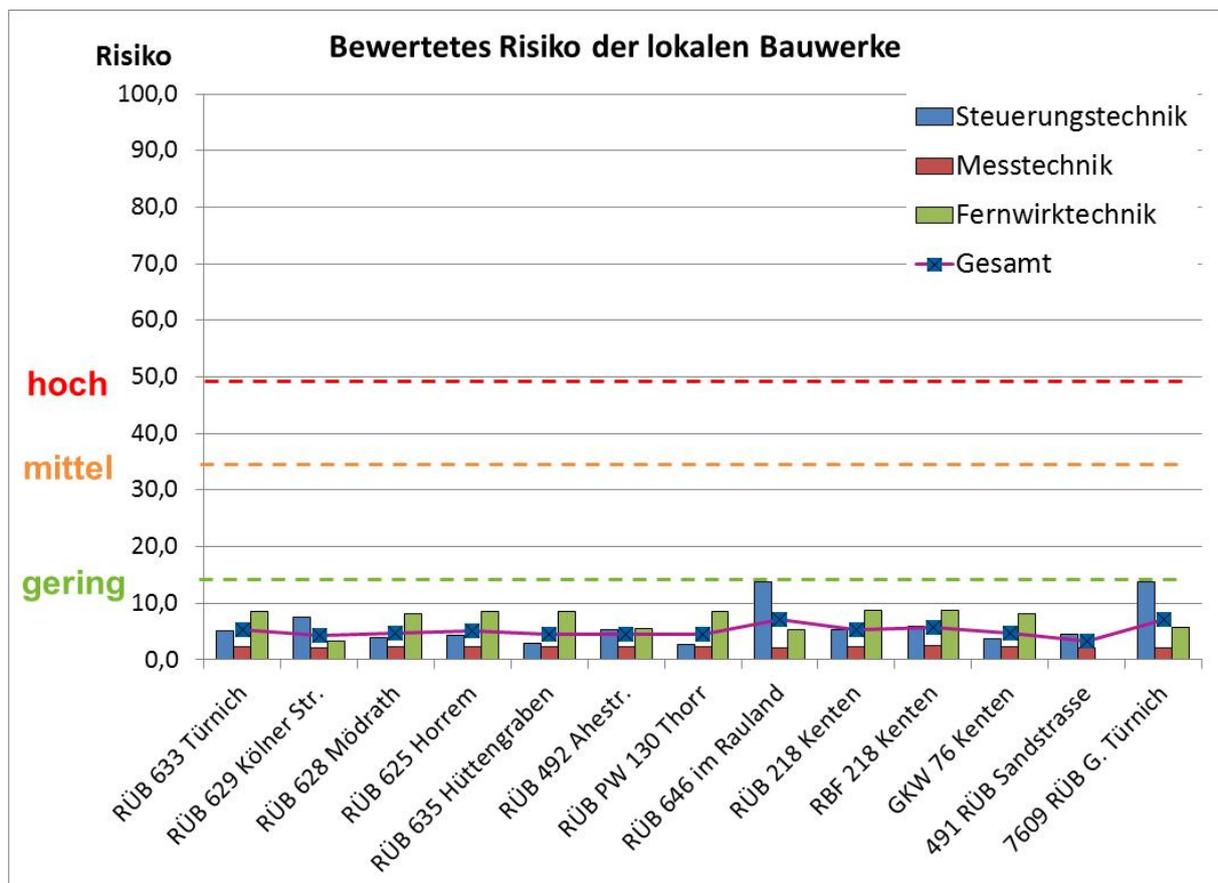
| Bauwerk Nr./Name         | Anlagenteil                         | Ausfallwahrscheinlichkeit W (1 bis 10) | Bedeutung B (1 bis 10) |                    |             |                       |          | Risiko R (WxB) (automatische Berechnung) |                    |             |                       |          |    |
|--------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|------------------------|--------------------|-------------|-----------------------|----------|------------------------------------------|--------------------|-------------|-----------------------|----------|----|
|                          |                                     |                                        | lokales Steuerbauwerk  | Steuerungszentrale | Wasserrecht | Kanalbetrieb/Rückstau | Gewässer | lokales Steuerbauwerk                    | Steuerungszentrale | Wasserrecht | Kanalbetrieb/Rückstau | Gewässer |    |
| <b>Steuerungstechnik</b> |                                     |                                        |                        |                    |             |                       |          |                                          |                    |             |                       |          |    |
| 6330301AP03001           | Regenwetterschnecke 1               | 1                                      | 1                      | 3                  |             | 7                     | 7        | 1                                        | 3                  | 0           | 7                     | 7        |    |
| 6330301AP03002           | Regenwetterschnecke 2               | 1                                      | 1                      | 3                  |             | 7                     | 7        | 1                                        | 3                  | 0           | 7                     | 7        |    |
| 6330301AP03003           | Regenwetterschnecke 3               | 1                                      | 1                      | 3                  |             | 7                     | 7        | 1                                        | 3                  | 0           | 7                     | 7        |    |
| 6330310AP03001           | Trockenwetterschnecke 1             | 3                                      | 1                      | 1                  | 7           | 3                     | 1        | 3                                        | 3                  | 21          | 9                     | 3        |    |
| 6330310AP03002           | Trockenwetterschnecke 2             | 3                                      | 1                      | 1                  | 7           | 3                     | 1        | 3                                        | 3                  | 21          | 9                     | 3        |    |
| 6330411AA50001           | Entleerungsschieber 1 RÜB1 SS1      | 3                                      | 1                      | 1                  |             | 3                     | 3        | 3                                        | 3                  | 0           | 9                     | 9        |    |
| 6330411AA50002           | Entleerungsschieber 2 RÜB2 SS2      | 3                                      | 1                      | 1                  |             | 3                     | 3        | 3                                        | 3                  | 0           | 9                     | 9        |    |
| 6330411AA50003           | Entleerungsschieber 3 Erdbecken SS2 | 3                                      | 1                      | 1                  |             | 3                     | 3        | 3                                        | 3                  | 0           | 9                     | 9        |    |
| <b>Messtechnik</b>       |                                     | <b>Messsystem</b>                      |                        |                    |             |                       |          |                                          |                    |             |                       |          |    |
| 6330102CF02001           | Weiterleitungsmenge                 | Venturi                                | 1                      | 3                  | 3           |                       | 3        | 3                                        | 3                  | 3           | 0                     | 3        | 3  |
| 6330102CL01001           | Niveau Erdbecken                    | Ultraschall                            | 1                      | 3                  | 1           |                       | 3        | 3                                        | 3                  | 1           | 0                     | 3        | 3  |
| 6330310CL01001           | Niveau Schneckensumpf               | Ultraschall                            | 1                      | 3                  | 3           |                       | 3        | 3                                        | 3                  | 3           | 0                     | 3        | 3  |
| 6330310CL04001           | Niveau MAX Schneckensumpf           | Schaltbirne                            | 1                      | 3                  | 1           |                       | 3        | 3                                        | 3                  | 1           | 0                     | 3        | 3  |
| 6330102CF03001           | Entlastungsmenge BÜ (RÜB)           | Ultraschall                            | 1                      | 1                  | 3           |                       | 3        | 3                                        | 1                  | 3           | 0                     | 3        | 3  |
| 6330102CF03002           | Entlastungsmenge KÜ (RÜB)           | Ultraschall                            | 1                      | 1                  | 3           |                       | 3        | 3                                        | 1                  | 3           | 0                     | 3        | 3  |
| 6330411CL02001           | Niveau RÜB1 (SS1)                   | Drucksonde                             | 1                      | 3                  | 3           |                       | 3        | 3                                        | 3                  | 3           | 0                     | 3        | 3  |
| 6330411CL02002           | Niveau RÜB2 (SS2)                   | Drucksonde                             | 1                      | 3                  | 3           |                       | 3        | 3                                        | 3                  | 3           | 0                     | 3        | 3  |
| <b>Fernwirktechnik</b>   |                                     |                                        |                        |                    |             |                       |          |                                          |                    |             |                       |          |    |
| 6330906EA00001           | SPS 1 Betrieb                       |                                        | 1                      | 10                 | 10          |                       | 10       | 10                                       | 10                 | 10          | 0                     | 10       | 10 |
|                          | Fernübertragung zur Leitwarte       |                                        | 3                      | 1                  | 10          |                       | 3        | 1                                        | 3                  | 30          | 0                     | 9        | 3  |
| <b>berechnete Werte</b>  |                                     |                                        |                        |                    |             |                       |          |                                          |                    |             |                       |          |    |
| 6330102CF03003           | Entlastungsmenge BÜ (Erdbecken)     | berechnet über Niveau Erdbecken        |                        |                    |             |                       |          |                                          |                    |             |                       |          |    |

Anmerkung:  
Entlastungsmenge KÜ/BÜ ist die gleiche Messung!



**Bild 5-1: Bedeutung bei Ausfall von Anlagenteilen für die Bereiche lokales Steuerbauwerk, Steuerungszentrale, Wasserrecht, Kanalbetrieb u. Gewässer**

Aus dem Produkt der Ausfallwahrscheinlichkeit  $W$  und der Bedeutung  $B$  ergibt sich das Risiko ( $R$ ) für jedes Bauwerk zu  $R = W * B$  mit einem maximalen Wert von 100, was einem hohen Risiko entspricht. Mit der Definition von Schwellenwerten kann daraus für jedes Bauwerk das Risikopotenzial für den Ausfall von Steuerungstechnik, Messtechnik oder Fernwirktechnik als gering, mittel oder hoch eingestuft werden (Bild 5-2). Für die zu steuernden RÜB im Netz Kenten war das Risiko als gering einzustufen, d.h. die vorhandene bzw. bereits in der ersten Phase ergänzte Technik erfüllte die Anforderungen für eine Steuerung.



**Bild 5-2: Risikopotenzial für den Ausfall von Steuerungstechnik, Messtechnik und Fernwirktechnik an den einzelnen RÜB**

Eine Verringerung des Risikos ist zusätzlich durch betriebliche Maßnahmen im Falle einer Störung möglich. In Kenten ist erfahrungsgemäß ca. 0,5 h nach Störungseingang Fachpersonal auf der Anlage vor Ort und eine Störung ist i.d.R. nach ca. 2 h behoben. Die Reaktionszeit auf eine Störung wurde daher nicht in der Risikobewertung in Kenten berücksichtigt.

## 5.2 Ausfallstrategie

Auf Grundlage der Risiko- und Störungsanalyse wurde die Ausfallstrategie entwickelt. Die Ausfallstrategie greift, wenn an einer Stelle Systemkomponenten gestört sind. Für die Abflusssteuerung in Kenten wurden verschiedene „Sicherheiten“ softwaretechnisch vorgesehen

und eine mehrstufige Ausfallstrategie umgesetzt. Über die Sicherheiten wird z.B. die Aktualität der Online-Radardaten und die Einhaltung des maximalen Zuflusses zur Kläranlage gewährleistet.

Die Ausfallstrategie umgesetzte definiert sechs Fehlerniveaus und zugehörige Maßnahmen (Bild 5-3). Die Maßnahmen umfassen das Setzen von Ersatzwerten für bestimmte Zeithorizonte, das Entfernen von einzelnen Becken aus der Steuerung bis zur Außerbetriebnahme der gesamten Steuerung und den Betrieb des Netzes mit Defaultwerten. Die Maßnahmen sind dabei unabhängig vom Typ der Messung. Die Grundzüge der Ausfallstrategie werden hier erläutert.

- Fehlerniveau 1: Bei Auftreten einer Störung eines Messwerts wird der letzte fehlerfreie Wert der Messung als Ersatzwert gesetzt, sofern dieser maximal 15 Minuten alt ist
- Fehlerniveau 2: Es liegt eine Störung eines Messwerts vor und es gibt keinen fehlerfreien Messwert innerhalb der letzten 15 min. Der berechnete Zufluss zum Becken (Flussbilanz) und der Wert für das Beckenfüllvolumen sind maximal eine Stunde alt. Die Flussbilanz und das Beckenfüllvolumen werden konstant fortgeschrieben und ggf. weiter gesteuert.
- Fehlerniveau 3: Es liegt eine Störung eines Messwerts vor und die fehlerfreien Werte für Flussbilanz und Beckenvolumen sind mehr als 1h und weniger als 2h alt. Der Zufluss wird aus der Prognoserechnung als Ersatzwert verwendet und ggf. weiter gesteuert.
- Fehlerniveau 4: Es liegt eine Störung eines Messwerts vor und die fehlerfreien Werte für Flussbilanz und Beckenvolumen sind mehr als 2h alt. Der Zufluss wird aus der Prognoserechnung als Ersatzwert verwendet. Das Bauwerk wird aus der Steuerung herausgenommen.
- Fehlerniveau 5: Es liegt eine Störung einer Betriebsmeldung aus einer Station vor. Das Bauwerk wird aus der Steuerung herausgenommen.
- Fehlerniveau 6: Die Verbindung zu einer Station ist gestört (Lebenszeichen-Überprüfung schlägt fehl). Der Zufluss wird aus der Prognoserechnung als Ersatzwert verwendet. Das Bauwerk wird aus der Steuerung herausgenommen.

| Klassifizierung | Beschreibung                                                                                                                                                                                                                                 | Maßnahme                                                                                                      |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Good            | Qualität des Datums = good, Qualität des SM-Datums = good, keine Störmeldung (SM-Variable prüfen)                                                                                                                                            |                                                                                                               |
| Failure Level 1 | Qualität des Datums != good, oder Qualität des SM-Datums != good, oder Störmeldung (SM-Variable prüfen),<br><b>Aber:</b> letztes Datum ohne Fehler maximal 5 Zeitschritte (15 Minuten) alt                                                   | Ersatzweise letztes gültiges Datum verwenden, ggf. weiterhin steuern                                          |
| Failure Level 2 | Qualität des Datums != good, oder Qualität des SM-Datums != good, oder Störmeldung (SM-Variable prüfen),<br><b>Aber:</b> letztes Datum ohne Fehler mehr als 5 Zeitschritte (15 Minuten) und Flussbilanz und Beckenfüllvolumen maximal 1h alt | Flussbilanzen und Beckenfüllvolumen konstant fortschreiben, ggf. weiterhin steuern                            |
| Failure Level 3 | Qualität des Datums != good, oder Qualität des SM-Datums != good, oder Störmeldung (SM-Variable prüfen),<br><b>Aber:</b> Flussbilanz und Beckenfüllvolumen mehr als 1h und maximal 2h alt                                                    | Fluss aus der Prognose übernehmen, Beckenfüllvolumen konstant fortschreiben, ggf. weiterhin steuern           |
| Failure Level 4 | Qualität des Datums != good, oder Qualität des SM-Datums != good, oder Störmeldung (SM-Variable prüfen), Flussbilanz und Beckenfüllvolumen mehr als 2h alt                                                                                   | Fluss aus der Prognose übernehmen, Beckenfüllvolumen konstant fortschreiben, Bauwerk aus der Steuerung nehmen |
| Failure Level 5 | Qualität der Betriebsmeldungen != good                                                                                                                                                                                                       | Bauwerk aus der Steuerung nehmen                                                                              |
| Failure Level 6 | Kommunikation gestört (Lebenszeichen-Check erfolglos)                                                                                                                                                                                        | Bauwerk aus der Steuerung nehmen                                                                              |

### Bild 5-3: Umgesetzte Ausfallstrategie im Siwa Sewer Assist (Sohr 2015)

Der bisherige gesteuerte Betrieb hat gezeigt, dass die Ausfallstrategie wie z.B. die Verwendung von Ersatzwerten oder das Ausschalten der Steuerung über das Prozessleisystem bei extremen Starkregenereignissen automatisch umgesetzt wird.

## 6 Genehmigung

Die Anforderungen zum Nachweis der Mischwasserbehandlung sind in Deutschland länder-spezifisch. Für die Genehmigung von Abflusssteuerungen gibt es in Deutschland und auf Länderebene kein einheitliches Verfahren, so dass bisher für jedes Praxisbeispiel neu entschieden werden muss. Ein standardisiertes Verfahren würde den Aufwand sowohl für die Betreiber als auch für die genehmigenden Behörden verringern und gewährleisten, dass bestimmte Mindestanforderungen erfüllt werden.

Im vorliegenden Forschungsprojekt fand ein regelmäßiger Austausch mit der zuständigen Wasserbehörde als fachbegleitende Institution statt. Der Erftverband als Netzbetreiber zeigte den Nachweis der Mischwasserbehandlungsanlagen im Einzugsgebiet der Kläranlage Kenten nach §58.1 LWG für den gesteuerten Betrieb an. Bestandteil der Anzeige war neben dem Fließschema des Netzes ein Erläuterungsbericht zur Steuerung.

Die Bezirksregierung erteilte daraufhin einen für das Forschungsvorhaben befristeten Ergänzungsbescheid. Dieser Bescheid enthält Regelungen den endgültigen Nachweis der Mischwasserbehandlungsanlagen auf Grundlage der Erkenntnisse des gesteuerten Betriebs innerhalb einer festgelegten Frist anzuzeigen und jeweils zum Quartalsende eine Auswertung über das Entlastungsverhalten der gesteuerten Mischwasserbehandlungsanlagen sowie eine Ausfallstatistik vorzulegen. Zwei Quartalsberichte über den gesteuerten Betrieb wurden vorgelegt.

## 7 Ergebnisse des gesteuerten Betriebs

Der gesteuerte Betrieb wird in den nächsten Abschnitten unter verschiedenen Fragestellungen betrachtet:

- Wie stabil läuft der gesteuerte Betrieb, d.h. das Zusammenspiel aller Komponenten (Ausfallstatistik, Abschnitt 7.1)?
- Wie sieht das Entlastungsverhalten aus (Entlastungsverhalten, Abschnitt 7.2)?
- Wie sensibel reagiert die Steuerung auf veränderte Eingangsdaten (Einfluss der Zuflussprognose, Abschnitt 7.3)?
- Wie wirkt sich die Steuerung auf den praktischen Betrieb aus (Auswirkungen auf den Betrieb, Abschnitt 7.4)?

Das Steuerungspotenzial, welches sich aus dem Vergleich der Entlastungsmengen für den gesteuerten und den ungesteuerten Betrieb ableiten lässt, wird im Kapitel 8 separat behandelt.

## 7.1 Ausfallstatistik

Die Steuerung läuft nur stabil, wenn das Zusammenspiel aller Komponenten fehlerfrei funktioniert. Dies setzt voraus, dass alle Einzelkomponenten gleichzeitig störungsfrei laufen. Dazu gehören

- die Bereitstellung der Niederschlagsdaten (Übermittlung der Online-Radardaten vom DWD an den Erftverband und vom Erftverband an den Zuflussprognoserechner)
- die Zuflussprognose, d.h. das Modell muss die automatisch bereitgestellten Niederschlagsdaten importieren, verarbeiten und die Ergebnisse an den Steuerungsrechner weitergeben.
- die Messtechnik in den Stationen
- die Datenübermittlung von den Stationen an die Leitzentrale, von der Leitzentrale zum Steuerungsrechner und wieder zurück

Ab Januar 2016 wurde die Steuerung zunächst zeitweise in Betrieb genommen und weitere Anpassungen und Optimierungen vorgenommen (siehe Abschnitt 4.5). Seit dem 18.03.16 ist die Steuerung dauerhaft aktiv.

Die Bereitstellung der Online-Radardaten wurden über den gesamten Zeitraum zuverlässig automatisiert bereitgestellt. Der Datenausfall liegt bei Null, was für die Eignung der Radardaten im Realbetrieb spricht. Die Prognoseberechnung für die Berechnung der Zuflüsse und die Bereitstellung an das Simulationsprogramm SIWA SEWER liefen ebenfalls fehlerfrei. Die statistische Analyse für das Funktionieren der Zuflussprognose inklusive Bereitstellung der Online-Radardaten ist über eine Qualitätsvariable möglich, die laufend mitgeschrieben wird und an deren Wert erkennbar ist, ob aktuelle Niederschlagsdaten verarbeitet wurden.

Das korrekte Funktionieren der Messtechnik in den Stationen muss durch Wartung und Plausibilitätsprüfung der Daten überprüft werden. Bei Ausfall der Messtechnik werden messdatenbezogene Störmeldungen von der Station an das Zentrale Leitsystem gesendet. Diese Meldungen werden von der Steuerungssoftware ausgewertet und die Ausfallstrategie angewendet (siehe Kapitel 5), d.h. es wird ggf. mit Ersatzwerten gerechnet oder das entsprechende Bauwerk wird aus der Steuerung herausgenommen.

Ist die Datenübermittlung an einer Stelle gestört, wird dies ebenfalls in der Signalkette erkannt und ggf. in den ungesteuerten Betrieb zurückgefahren. Eine ungestört durchlaufende Signalkette wird durch die Betriebsmeldung „aktiv gesteuert“ dokumentiert. Diese Betriebsmeldungen wurden für jedes gesteuerte Becken ausgewertet und die Zeit der aktiven Steuerung in Tabelle 7-1 zusammengestellt.

„Aktiv gesteuert“ bedeutet dabei, dass die vom Steuerungsrechner vorgegebenen Sollwerte an die Unterstationen (RÜB) weitergegeben wurden. Dies können auch die Default-Werte (d.h. Drosseleinstellung wie im ungesteuerten Betrieb) gewesen sein. Ab Juli wurde die Da-

tenarchivierung differenzierter gestaltet, so dass aus der Tabelle der Optimierungsergebnisse direkt die Information entnommen werden kann, ob „aktiv gesteuert“ oder der Default-Betrieb aufgrund von Störungen o.ä. gesetzt wurde. Für die letzten beiden Zeiträume in der Tabelle 7-1 ist daher auch angegeben, wieviel Prozent der Entlastungsereignisse gesteuert wurden (siehe grüne Spalten in Tabelle 7-1). Die vier Becken mit Entlastungsereignissen wurden während der gesamten Zeit der Ereignisse gesteuert.

Die Tabelle 7-1 zeigt, dass die Steuerung der Becken bei fast allen Becken bis Anfang August zu über 90 % bzw. 95 % aktiv war. Ausnahmen stellen das RÜB 130 und das RÜB 625 dar, an denen Umbauarbeiten vorgenommen wurden, zeitweise auch am RÜB 633. Im letzten Zeitraum von Anfang August bis Mitte Oktober war die Steuerung bei den Becken (mit Ausnahme von RÜB 625) zu ca. 85 % aktiv. Dabei ist zu bemerken, dass während der Entlastungsereignisse die Steuerung bei vier Becken zu 100 % aktiv war, bei den übrigen drei Becken zu 80 % bzw. 95 %. Die Steuerung kann damit als sehr erfolgreich in Bezug auf die Betriebsstabilität bezeichnet werden.

Tabelle 7-1: Zeit der aktiven Steuerung der Becken in Prozent

| Datenzeitraum                          | 18.03.16 - 17.04.16                   | 17.04.16 - 12.05.16 | 12.05.16 - 14.06.16 |
|----------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|---------------------|
| Anzahl Tage mit Entlastungsereignissen | 1                                     | 3                   | 10                  |
| Nr. Bezeichnung                        | "Steuerung aktiv" in Prozent der Zeit |                     |                     |
| 633 RÜB Türnich                        | 99                                    | 100                 | 91                  |
| 99 bzw. 7609 RÜB Gew. Türnich          | 99                                    | 100                 | 91                  |
| 629 RÜB Kölnerstr.                     | 99                                    | 99                  | 92                  |
| 628 RÜB Mödrath                        | 98                                    | 100                 | 86                  |
| 625 RÜB Horrem                         | 98                                    | 92                  | 0 <sup>*2)</sup>    |
| 635 RÜB Hüttengraben                   | 99                                    | 99                  | 91                  |
| 492 RÜB Ahestr.                        | 99                                    | 100                 | 92                  |
| 646 RÜB Im Rauland                     | 99                                    | 99                  | 89                  |
| 130 RÜB Thorr                          | 72                                    | 0 <sup>*2)</sup>    | 3 <sup>*2)</sup>    |

| Datenzeitraum                                                                                                         | 01.07.16 - 04.08.16 <sup>*1)</sup>    | Gesteuerte Entlastungsereignisse in Prozent | 05.08.16 - 12.10.16                   | Gesteuerte Entlastungsereignisse in Prozent |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------|
| Anzahl Tage mit Entlastungsereignissen                                                                                | 3                                     |                                             | 6                                     |                                             |
| Nr. Bezeichnung                                                                                                       | "Steuerung aktiv" in Prozent der Zeit |                                             | "Steuerung aktiv" in Prozent der Zeit |                                             |
| 633 RÜB Türnich                                                                                                       | 50 <sup>*2)</sup>                     | 100                                         | 82                                    | 100                                         |
| 99 bzw. 7609 RÜB Gew. Türnich                                                                                         | 94                                    | keine Entlastung                            | 88                                    | 95                                          |
| 629 RÜB Kölnerstr.                                                                                                    | 100                                   | 100                                         | 88                                    | 79                                          |
| 628 RÜB Mödrath                                                                                                       | 85                                    | keine Entlastung                            | 84                                    | 100                                         |
| 625 RÜB Horrem                                                                                                        | 0 <sup>*2)</sup>                      | -                                           | 57                                    | 81                                          |
| 635 RÜB Hüttengraben                                                                                                  | 97                                    | keine Entlastung                            | 80                                    | 100                                         |
| 492 RÜB Ahestr.                                                                                                       | 100                                   | 100                                         | 83                                    | keine Entlastung                            |
| 646 RÜB Im Rauland                                                                                                    | 99                                    | keine Entlastung                            | 88                                    | keine Entlastung                            |
| 130 RÜB Thorr                                                                                                         | 4 <sup>*2)</sup>                      | 100 <sup>*3)</sup>                          | 84                                    | 100                                         |
| <sup>*1)</sup> ohne 05.07. - 11.07.16<br><sup>*2)</sup> Reparaturen, Umbauarbeiten<br><sup>*3)</sup> vernachlässigbar |                                       |                                             |                                       |                                             |

## 7.2 Entlastungsverhalten

Das Ziel der Kanalnetzsteuerung in Kanten ist, die Entlastungsmenge zu reduzieren und dadurch die Gewässer zu entlasten. Daher ist die Entlastungsmenge von Bedeutung, insbesondere die Differenz der Entlastungsmenge zwischen ungesteuertem und gesteuertem Betrieb, d.h. das Potenzial. Darüber hinaus ist auch interessant, welche Entlastungsschwerpunkte es im Netz gibt und wie diese ggf. durch die Steuerung reguliert werden können.

Die Entlastungsmengen werden im EZG Kanten an jedem gesteuerten Becken messtechnisch erfasst, für den ungesteuerten Betrieb mitsimuliert und den gesteuerten Betrieb optimiert. Modellbedingt werden auch für die Simulation im ungesteuerten Betrieb alle 3 min. die Eingangsdaten aktualisiert und die Vorhersage der Regendaten einbezogen. Mit der neuen Version des Steuerprogramms ab 01.07.16 wurden erweiterte Mechanismen zur Modelladaption an die gemessenen Werte vorgenommen. Dies wird in der derzeitigen Version des Steuerprogramms auch für die betriebsbegleitende Simulation des ungesteuerten Betriebs (Defaultbetrieb) umgesetzt. Der ungesteuerte Betrieb kann somit online aktuell nicht mehr realitätsnah abgebildet werden. Um die erreichte Optimierung durch die Steuerung quantifizieren zu können, müssen die Entlastungsmengen für den ungesteuerten Betrieb offline mit einer auf den ungesteuerten Betrieb angepassten Modelladaption nachsimuliert werden. Der Vergleich zwischen ungesteuertem und gesteuertem Betrieb wird in Kapitel 8 behandelt.

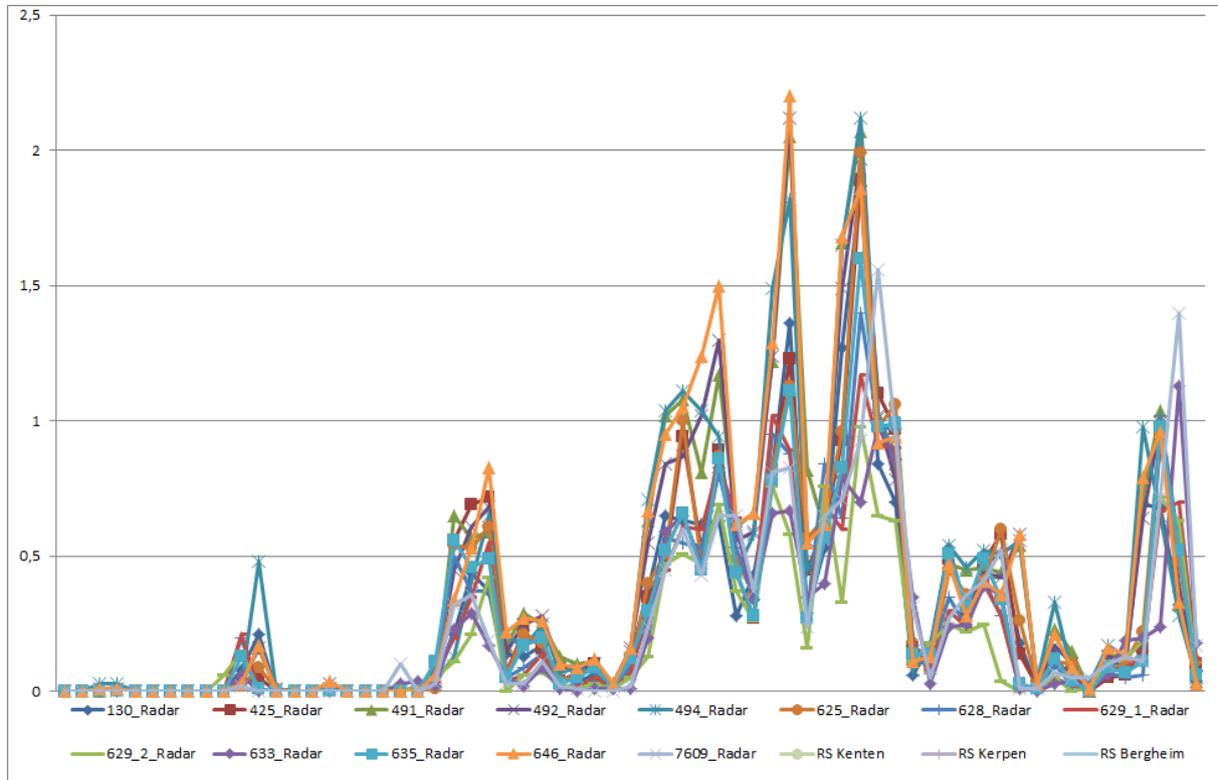
In diesem Abschnitt wird auf das Entlastungsverhalten im gesteuerten Netz Kanten eingegangen. Betrachtet wird der Zeitraum 18.03.2016 bis 12.10.2016, der in fünf Datenzeiträume unterteilt wird (Tabelle 7-2).

**Tabelle 7-2: Datenzeiträume und Anzahl der Tage mit Entlastungsereignissen**

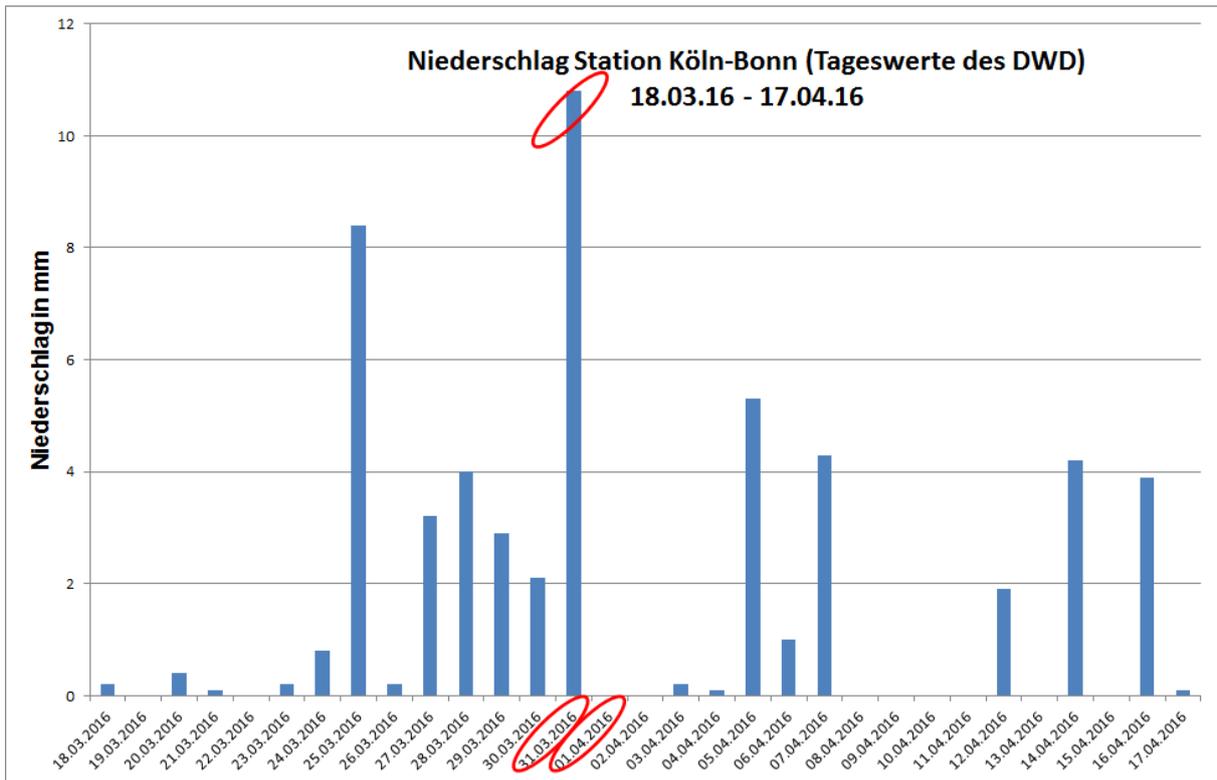
| Datenzeitraum          | Anzahl der Tage mit Entlastungsereignissen |
|------------------------|--------------------------------------------|
| 1) 18.03.16 - 17.04.16 | 2                                          |
| 2) 17.04.16 - 12.05.16 | 3                                          |
| 3) 12.05.16 - 14.06.16 | 10                                         |
| 4) 01.07.16 - 04.08.16 | 3                                          |
| 5) 05.08.16 – 12.10.16 | 6                                          |

Für die fünf Datenzeiträumen sind die Anzahl der (Kalender-)Tage mit Entlastungsereignissen angegeben und in den Diagrammen für die Niederschlagsdaten (Tagessummen des DWD, Bild 7-2 bis Bild 7-8) rot markiert. Die Diagramm Daten dienen nur als Anhaltspunkt für das Niederschlagsgeschehen im EZG Kanten, da es sich um Tagessummen der Station Köln-Bonn handelt, d.h. zeitlich und räumlich geringer aufgelöste Daten. Insbesondere beim Bild 7-5 wird deutlich, dass Niederschlagsereignisse lokal sehr begrenzt sein können (d.h. in Kanten gab es Entlastungen, in Köln-Bonn keinen Niederschlag).

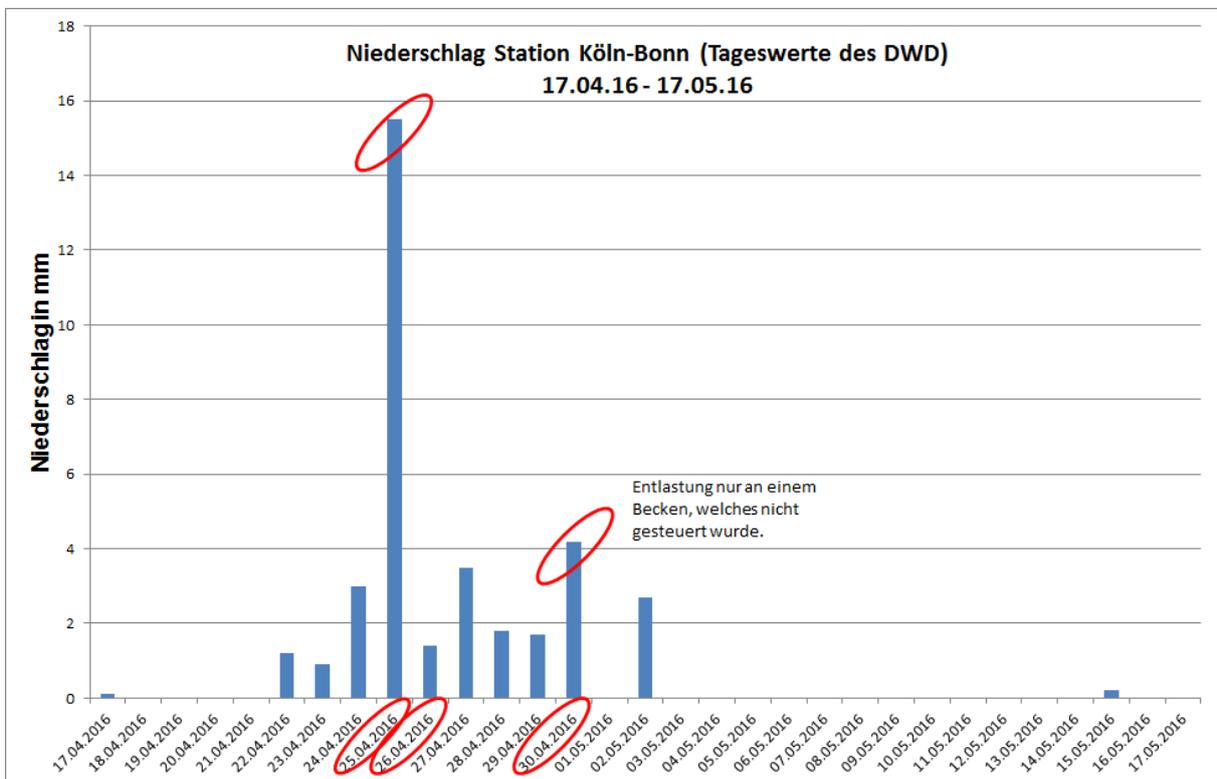
Durch die Einbindung von Online-Radardaten, die für jedes gesteuerte Becken differenziert werden, wird dem lokalen Einfluss, d.h. der ungleichmäßigen Überregnung, Rechnung getragen (Beispiel in Bild 7-1).



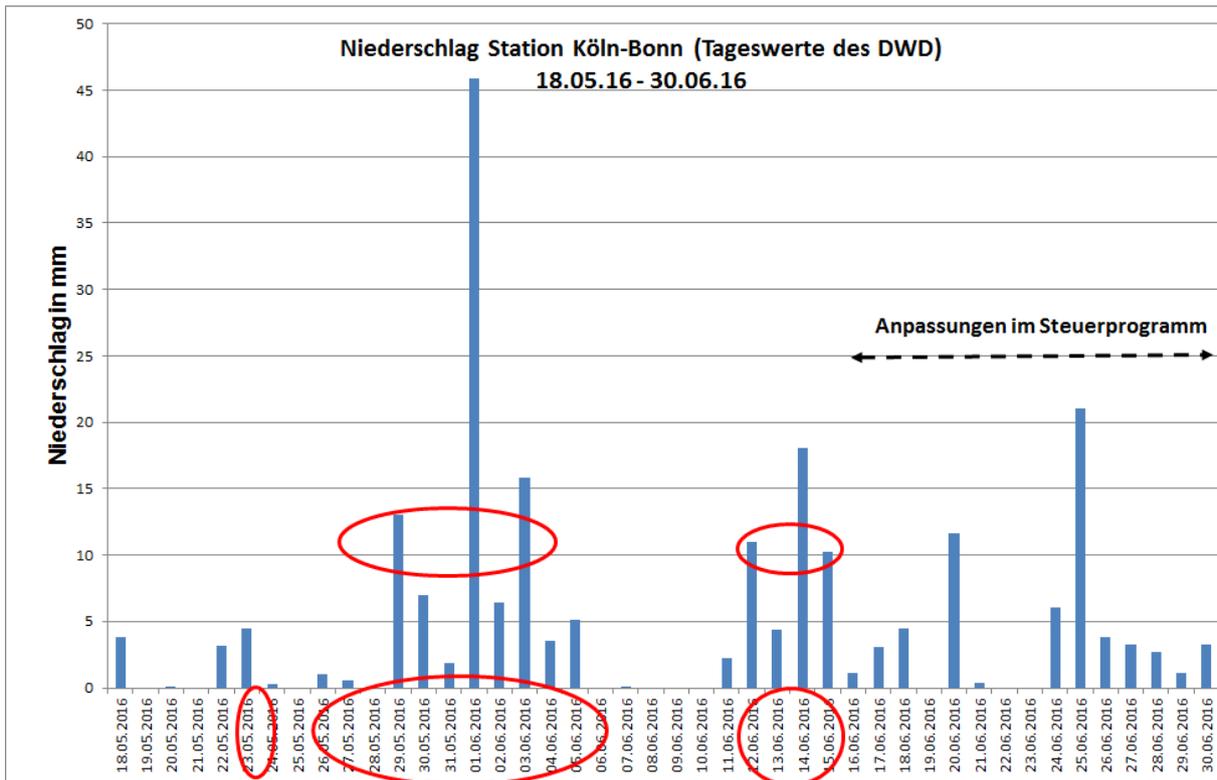
**Bild 7-1:** Beispiel für Eingangsdaten im Projekt: Radarmessdaten für ein Regenereignis (16 h) differenziert für jedes gesteuerte Becken



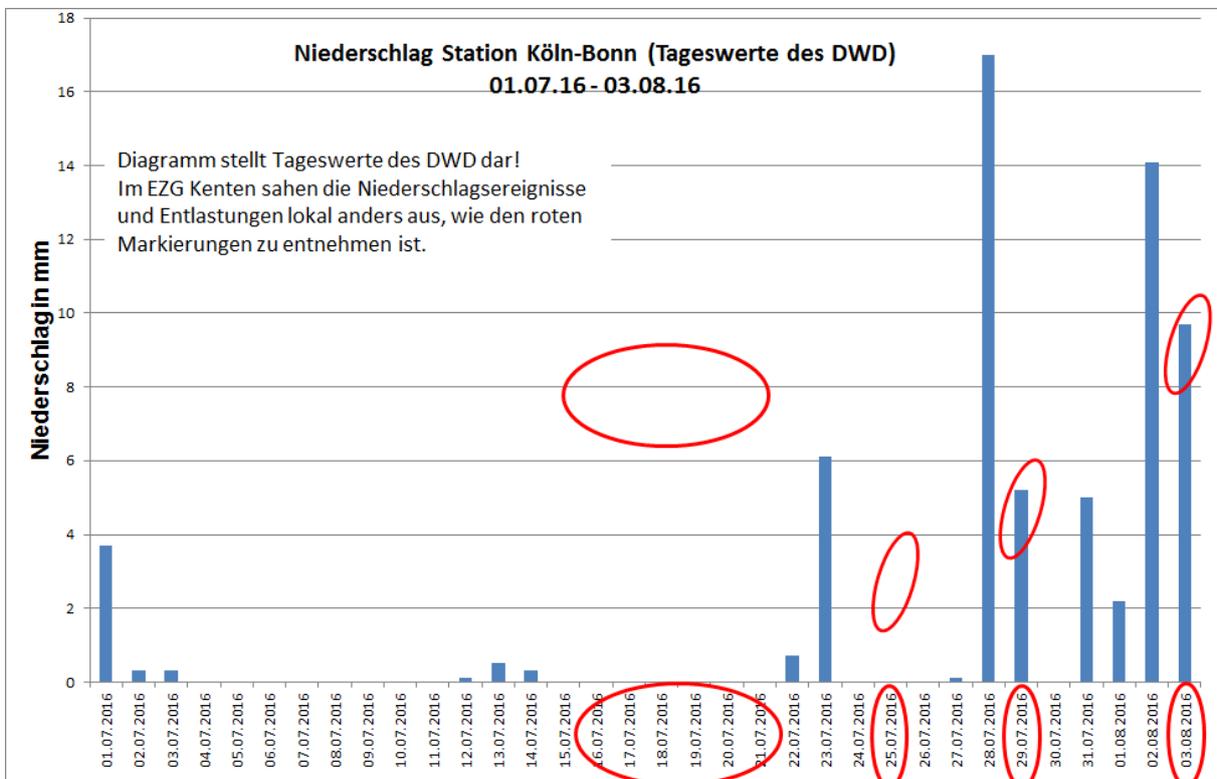
**Bild 7-2: Niederschlagsdaten der Station Köln-Bonn (DWD) zwischen 18.03.16 und 17.04.16 zur Plausibilitätskontrolle**



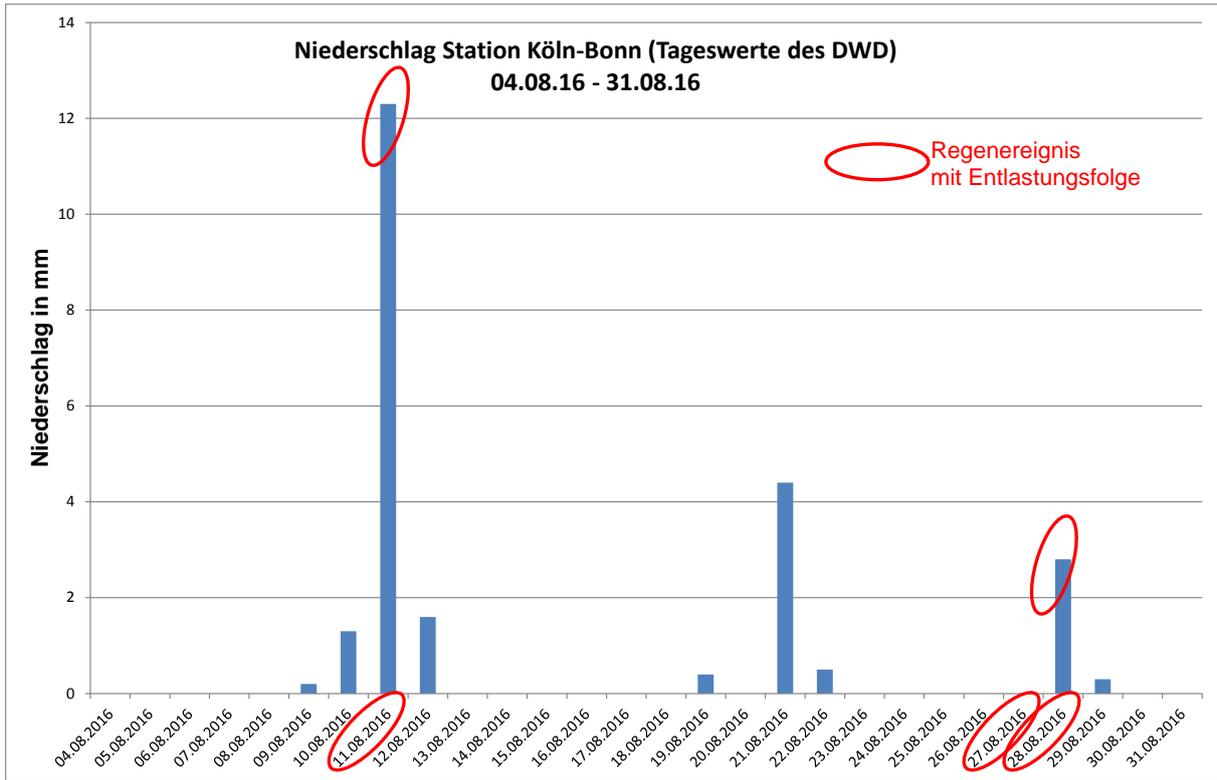
**Bild 7-3: Niederschlagsdaten der Station Köln-Bonn (DWD) zwischen 17.04.16 und 17.05.16 zur Plausibilitätskontrolle**



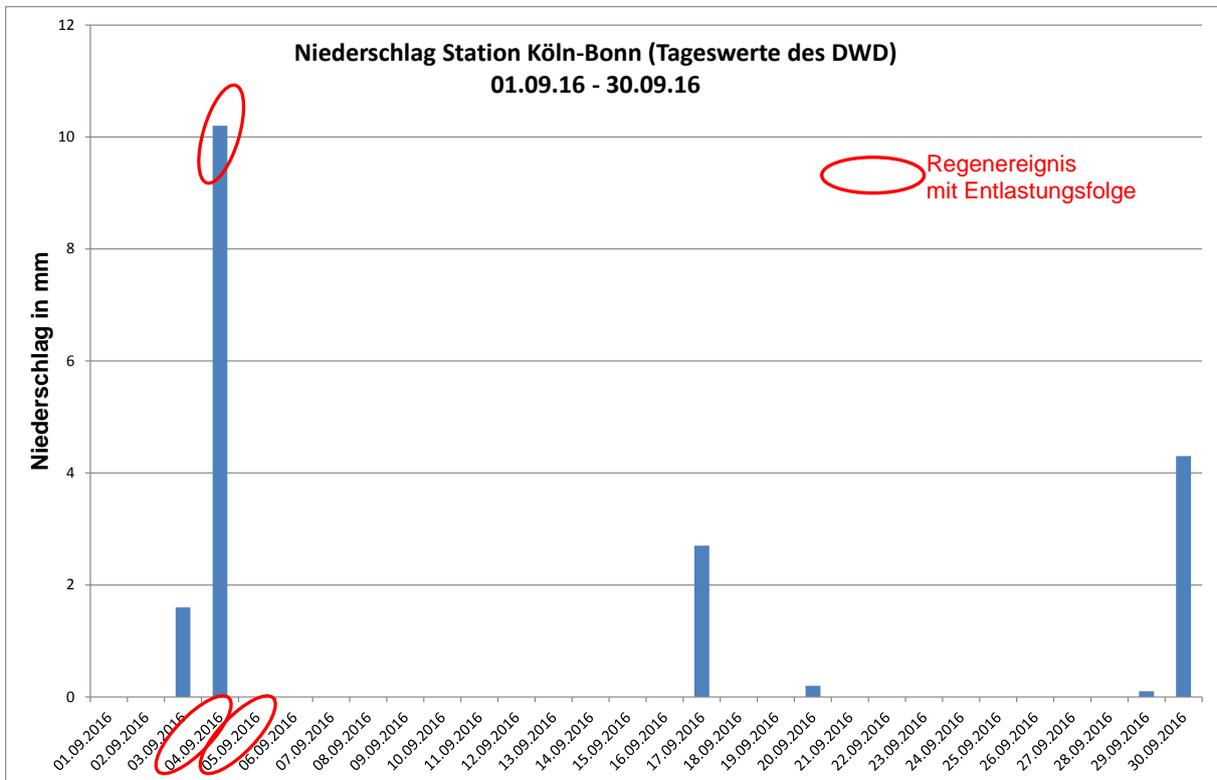
**Bild 7-4: Niederschlagsdaten der Station Köln-Bonn (DWD) zwischen 18.05.16 und 30.06.16 zur Plausibilitätskontrolle**



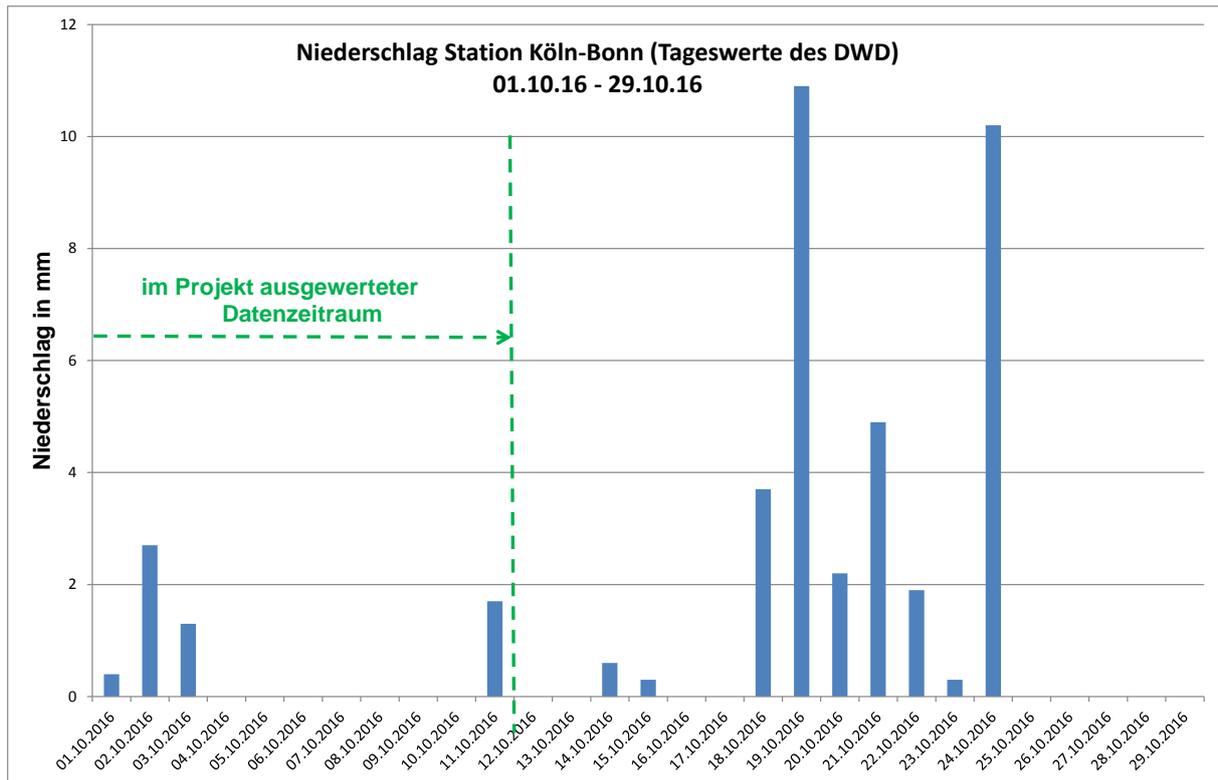
**Bild 7-5: Niederschlagsdaten der Station Köln-Bonn (DWD) zwischen 01.07.16 und 03.08.16 zur Plausibilitätskontrolle**



**Bild 7-6: Niederschlagsdaten der Station Köln-Bonn (DWD) zwischen 04.08.16 und 31.08.16 zur Plausibilitätskontrolle**



**Bild 7-7: Niederschlagsdaten der Station Köln-Bonn (DWD) zwischen 01.09.16 und 30.09.16 zur Plausibilitätskontrolle**



**Bild 7-8: Niederschlagsdaten der Station Köln-Bonn (DWD) zwischen 01.10.16 und 29.10.16 zur Plausibilitätskontrolle**

Die tatsächlich gemessenen und die von der Optimierung berechneten Entlastungsmengen sind für die genannten Datenzeiträume in Tabelle 7-3 dargestellt. Daraus ist zu entnehmen, dass Modell und Realität gut übereinstimmen, da die Abweichungen meistens unter 5 % bis 10 % liegen. Die nicht aufgeführten Becken wurden nicht gesteuert (Umbau / Reparatur) bzw. die Daten waren nicht auswertbar, da die Modelladaption auf den aktuellen Zustand erst ab 01.07.16 installiert war oder weil es aufgrund von Starkregenereignissen zu Fehlmessungen an einzelnen Becken kam (30.05.16 bis 01.06.16).

**Tabelle 7-3: Gemessene und optimierte Entlastungsmengen an den gesteuerten RÜB für die Datenzeiträume**

| Datenzeitraum 18.03. - 17.04.16 |              |                  | Entlastung gemessen<br>m <sup>3</sup><br>aus Tabelle AE | Entlastung optimiert<br>(gesteuert, wenn<br>Steuerung aktiv)<br>aus Tabelle Opt | Abweichung in %<br>Entlastung optimiert /<br>gemessen |
|---------------------------------|--------------|------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|                                 | Nr.          | Bezeichnung      |                                                         |                                                                                 |                                                       |
| 1                               | 633          | RÜB Türnich      | 7.570                                                   | 7.317                                                                           | -3                                                    |
| 2                               | 99 bzw. 7609 | RÜB Gew. Türnich | 0                                                       | 0                                                                               | 0                                                     |
| 3                               | 629          | RÜB Kölnerstr.   | 6.163                                                   | 2.988                                                                           | -52 *1)                                               |
| 4                               | 628          | RÜB Mödrath      | 0                                                       | 0                                                                               | 0                                                     |
| 5                               | 625          | RÜB Horrem       | 1.219                                                   | 1.255                                                                           | 3                                                     |
| 6                               | 635          | RÜB Hüttengraben | 0                                                       | 0                                                                               | 0                                                     |
| 8                               | 492          | RÜB Ahestr.      | 0                                                       | 0                                                                               | 0                                                     |
| 9                               | 646          | RÜB Im Rauland   | 0                                                       | 0                                                                               | 0                                                     |
| 10                              | 130          | RÜB Thorr        | 0                                                       | 0                                                                               | 0                                                     |
| 11                              | 218          | RÜB Kenten       | 41                                                      | keine Daten in DB                                                               | -                                                     |

*\*1) Deutliche Abweichung, da Steuervorgaben nicht umgesetzt wurden (zweite Schnecke war nicht verfügbar). Modelladaption wurde daraufhin implementiert.*

| Datenzeitraum 17.04. - 15.06.16 |     |                  | Entlastung gemessen<br>m <sup>3</sup><br>aus Tabelle AE | Entlastung optimiert<br>(gesteuert, wenn<br>Steuerung aktiv)<br>aus Tabelle Opt | Abweichung in %<br>Entlastung optimiert /<br>gemessen |
|---------------------------------|-----|------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|                                 | Nr. | Bezeichnung      |                                                         |                                                                                 |                                                       |
| 1                               | 633 | RÜB Türnich      | 109.753                                                 | 108.668                                                                         | -1                                                    |
| 6                               | 635 | RÜB Hüttengraben | 61.393                                                  | 58.894                                                                          | -4                                                    |
| 8                               | 492 | RÜB Ahestr.      | 11.001                                                  | 10.514                                                                          | -4                                                    |
| 9                               | 646 | RÜB Im Rauland   | 0                                                       | 0                                                                               | 0                                                     |

| Datenzeitraum 01.07. - 04.08.16 |              |                  | Entlastung gemessen<br>m <sup>3</sup><br>aus Tabelle AE          | Entlastung optimiert<br>(gesteuert, wenn<br>Steuerung aktiv)<br>aus Tabelle Opt | Abweichung in %<br>Entlastung optimiert /<br>gemessen |
|---------------------------------|--------------|------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|                                 | Nr.          | Bezeichnung      |                                                                  |                                                                                 |                                                       |
| 1                               | 633          | RÜB Türnich      | 4.706                                                            | 4.879                                                                           | 4                                                     |
| 2                               | 99 bzw. 7609 | RÜB Gew. Türnich | 0                                                                | 0                                                                               | 0                                                     |
| 3                               | 629          | RÜB Kölnerstr.   | 109                                                              | 74                                                                              | -32 *2)                                               |
| 4                               | 628          | RÜB Mödrath      | 0                                                                | 0                                                                               | 0                                                     |
| 5                               | 625          | RÜB Horrem       | Entlastung im Bereich der Messgenauigkeit<br>und nicht gesteuert |                                                                                 | -                                                     |
| 6                               | 635          | RÜB Hüttengraben | 0                                                                | 0                                                                               | 0                                                     |
| 8                               | 492          | RÜB Ahestr.      | 0                                                                | 0                                                                               | 0                                                     |
| 9                               | 646          | RÜB Im Rauland   | keine Entlastung im Zeitraum                                     |                                                                                 | 0                                                     |
| 10                              | 130          | RÜB Thorr        |                                                                  | nicht gesteuert                                                                 | -                                                     |

*\*2) Ungenauigkeit, da geringe Überfallhöhe aufgrund langer Abschlagskante*

| Datenzeitraum 05.08. - 12.10.16 |              |                  | Entlastung gemessen<br>m <sup>3</sup><br>aus Tabelle AE | Entlastung optimiert<br>(gesteuert, wenn<br>Steuerung aktiv)<br>aus Tabelle Opt | Abweichung in %<br>Entlastung optimiert /<br>gemessen |
|---------------------------------|--------------|------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|                                 | Nr.          | Bezeichnung      |                                                         |                                                                                 |                                                       |
| 1                               | 633          | RÜB Türnich      | 16.630                                                  | 17.939                                                                          | 8                                                     |
| 2                               | 99 bzw. 7609 | RÜB Gew. Türnich | 4.175                                                   | 4.320                                                                           | 3                                                     |
| 3                               | 629          | RÜB Kölnerstr.   | 20.652                                                  | 21.963                                                                          | 6                                                     |
| 4                               | 628          | RÜB Mödrath      | 4.897                                                   | 5.334                                                                           | 9                                                     |
| 5                               | 625          | RÜB Horrem       | 9.522                                                   | 11.007                                                                          | 16                                                    |
| 6                               | 635          | RÜB Hüttengraben | 28.277                                                  | 29.834                                                                          | 6                                                     |
| 8                               | 492          | RÜB Ahestr.      | 0                                                       | 0                                                                               | 0                                                     |
| 9                               | 646          | RÜB Im Rauland   | 62                                                      | 0                                                                               | -100 *1)                                              |
| 10                              | 130          | RÜB Thorr        | 106                                                     | 143                                                                             | 35 *1)                                                |

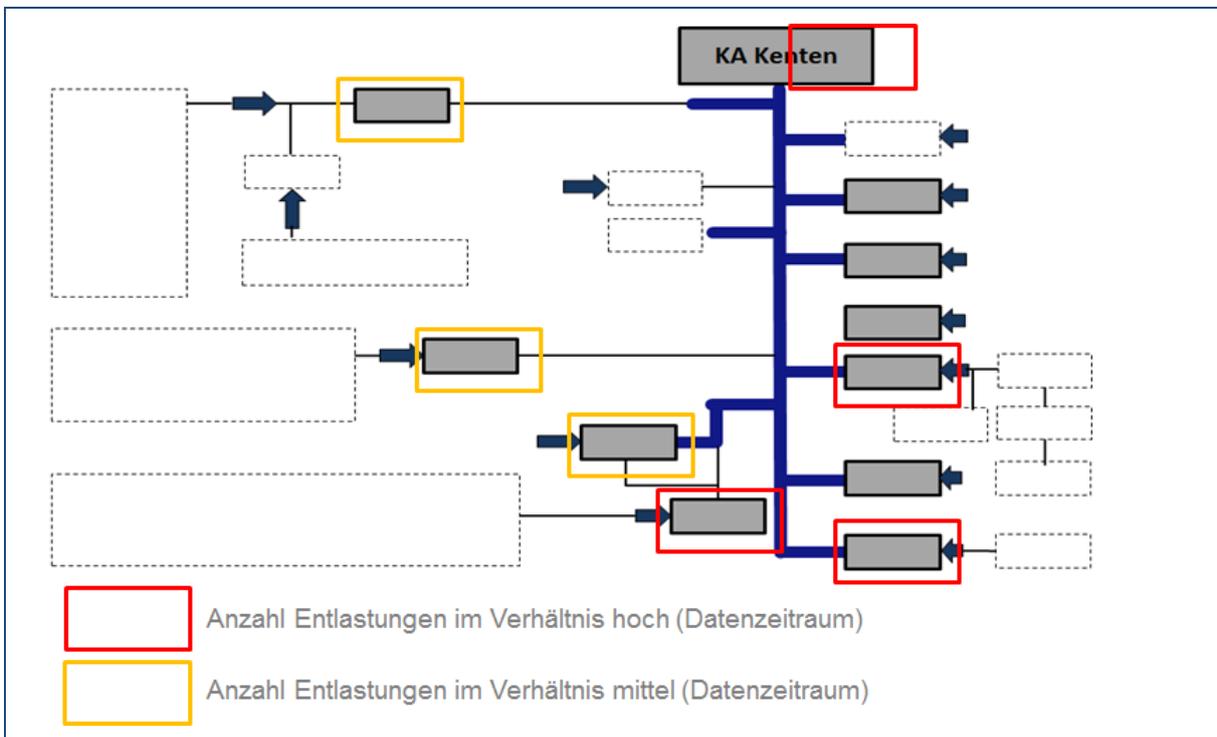
*\*1) Ungenauigkeit, da geringe Überfallhöhe und kleine Menge*

Wie bereits erwähnt, müssen die Entlastungsmengen für den ungesteuerten Betrieb offline mit den Regendaten nachsimuliert werden, um die erreichte Optimierung durch die Steuerung weiter quantifizieren zu können. Die Ergebnisse sind in Kapitel 8 zusammengefasst.

Aus der Datengrundlage lassen sich darüber hinaus Entlastungsschwerpunkte im Netz ableiten. Dazu wurden die Anzahl der Tage mit Entlastungen im gesamten Zeitraum ermittelt (siehe Tabelle 7-4 und Bild 7-9).

**Tabelle 7-4: Anzahl der Tage mit Entlastungen im gesamten Datenzeitraum (18.03.16 bis 12.10.16)**

|    | Nr.          | Bezeichnung      | Anzahl Tage mit Entlastungen im Datenzeitraum |
|----|--------------|------------------|-----------------------------------------------|
| 1  | 633          | RÜB Türnich      | > 12                                          |
| 2  | 99 bzw. 7609 | RÜB Gew. Türnich | > 7                                           |
| 3  | 629          | RÜB Kölnerstr.   | > 12                                          |
| 4  | 628          | RÜB Mödrath      |                                               |
| 5  | 625          | RÜB Horrem       | > 12                                          |
| 6  | 635          | RÜB Hüttengraben | > 7                                           |
| 8  | 492          | RÜB Ahestr.      |                                               |
| 9  | 646          | RÜB Im Rauland   |                                               |
| 10 | 130          | RÜB Thorr        | > 7                                           |
| 11 | 218          | RÜB Kenten       | > 12                                          |



**Bild 7-9: Entlastungsschwerpunkte im Netz Kenten im Datenzeitraum März bis Mitte Oktober 2016**

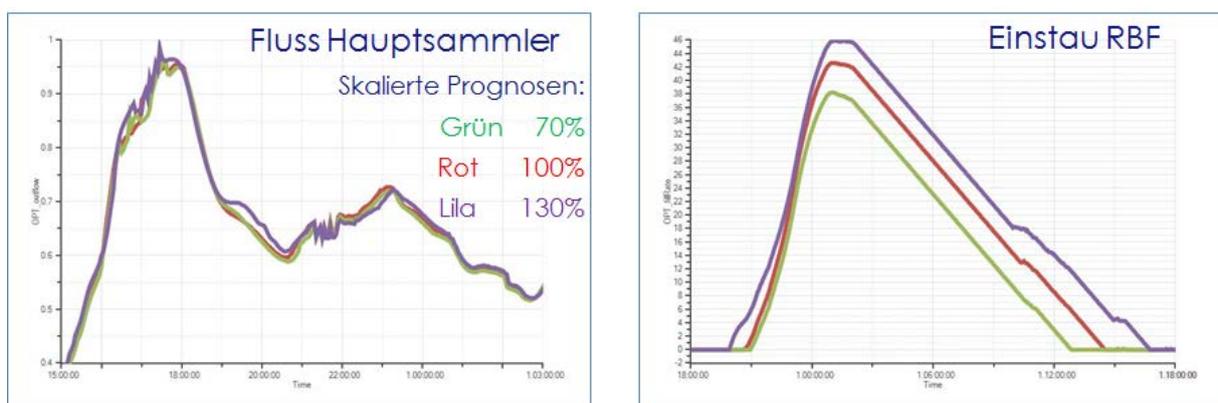
Es wird eine Einteilung in zwei Kategorien vorgenommen: Anzahl der Entlastungen im Verhältnis hoch (rot dargestellt) und Anzahl der Entlastungen im Verhältnis mittel (gelb dargestellt). Bei Betrachtung der Wichtungsfaktoren in der Optimierungsgleichung des Steueralgorithmus wird deutlich, dass die Entlastungsschwerpunkte mit den Wichtungsfaktoren korrespondieren. Je größer der Schwerpunkt ist, desto größer ist auch der Wichtungsfaktor, d.h. desto höher ist die Priorität an dieser Stelle eine Entlastung zu vermeiden bzw. gering zu halten. Die richtige Einschätzung der Wichtungsfaktoren lässt sich dadurch bestätigen.

### 7.3 Einfluss der Zuflussprognose

Der Zufluss zum Netz Kenten wird mit dem Modell HEC-HMS aus Online-Radardaten alle 15 min. neu berechnet bzw. prognostiziert. Wie bei allen Daten und Modellen ist auch hier mit Ungenauigkeiten zu rechnen. Es stellt sich daher die Frage, wie groß der Einfluss der Zuflussprognose auf die Steuerentscheidungen tatsächlich ist bzw. wie genau die Zuflussprognose sein muss, um zu guten Steuerentscheidungen zu führen.

Um diesen Einfluss abzuschätzen, wurde eine Sensitivitätsuntersuchung durchgeführt, indem eine Rechnung mit skalierten Prognosen (70 %, 100 % und 130 %) durchgeführt und die Auswirkungen auf das Kanalnetz betrachtet wurden.

Der Volumenstrom im Hauptsammler und der Einstau im Retentionsbodenfilter für unterschiedliche Prognosen sind in Bild 7-10 dargestellt. Es zeigt sich, dass die Unterschiede relativ gering aber plausibel sind, sofern die Prognoseänderung gleichmäßig über das Gebiet erfolgt und eine Neuberechnung alle 3 min. stattfindet. Ist die Prognose niedrig (70 %), wird mehr Wasser in den Bauwerken zurückgehalten, um RÜB/RBF 218 Kenten zu entlasten. Liegt die Prognose hoch, wird mehr Wasser weitergeleitet, um Entlastungen aus den Bauwerken zu vermeiden.



**Bild 7-10: Einfluss der Zuflussprognose auf den Volumenstrom im Hauptsammler und den Einstau im Retentionsbodenfilter**

Die Ergebnisse zeigen, dass der Einfluss einer pauschal zu hohen oder pauschal zu niedrigen Zuflussprognose eher gering ist. Der Einfluss kann möglicherweise höher sein, wenn die Zuflussprognose nur lokal eine Über- oder Unterschätzung liefert und es dann zu lokalen Verschiebungen von Entlastungen kommen kann.

Insgesamt wird der Einfluss der Zuflussprognose auf das Steuerprogramm aber dadurch begrenzt, dass zyklisch alle drei Minuten eine Neuberechnung der Steuervorgaben auf Basis aktueller Messungen im System erfolgt. Zudem basiert die Neuberechnung alle 15 Minuten auf einer neuen Radarprognose und damit einer neuen Zuflussprognose.

#### **7.4 Auswirkungen auf den Betrieb**

Die Auswirkungen der Kanalnetzsteuerung in Kanten seit Mitte März waren auch unabhängig von Zahlen für den Betrieb erfahrbar. Sowohl anhand der Ergebnisse als auch durch Beobachtungen des Betriebs lassen sich die folgenden Punkte als positive Effekte der Steuerung erkennen:

- Der Zulauf zur Kläranlage wird erhöht, dadurch wird mehr Mischwasser behandelt.
- Die Entleerungszeit der Becken außerhalb der Kläranlage ist deutlich reduziert.
- Verbesserter Gewässerschutz durch intelligente Bewirtschaftung, da Entlastungen von Becken in empfindliche Gewässer durch Verschiebungen in andere Becken reduziert werden.
- Systematische Kontrolle ermöglicht eine Erhöhung der Betriebssicherheit.

Positiv anzumerken ist darüber hinaus, dass die Störmelde- und Ausfallstrategie automatisiert und zuverlässig funktioniert, so dass durch die Steuerung nicht mit erhöhtem Personaleinsatz zu rechnen ist.

### **8 Vergleich ungesteuerter und gesteuerter Betrieb**

#### **8.1 Gesamtbetrachtung**

Zur Bewertung des Steuerungserfolgs wird im vorliegenden Kapitel der tatsächlich gefahrene gesteuerte Betrieb mit einem offline simulierten Defaultbetrieb (ungesteuerter Betrieb) verglichen. Hierzu werden vier Regenereignisse mit Entlastungsfolge zwischen Juli und September 2016 ausgewählt und analysiert. Der Defaultbetrieb wird im Modell mit den tatsächlich im Betrieb aufgenommenen Zuflussmengen simuliert. Die (maximalen) Weiterleitungsmengen im Modell entsprechen den genehmigten Werten für den Defaultbetrieb.

Für den Vergleich werden die drei folgenden Entlastungsgrößen einander gegenüber gestellt:

- die gemessenen Entlastungsmengen im gesteuerten Betrieb,

- die Entlastungsmengen im gesteuerten Modell, auf deren Basis die Steuerentscheidungen gefällt wurden,
- die Entlastungsmengen im simulierten Defaultbetrieb (ungesteuertes Modell).

Aus dem Vergleich der gemessenen Entlastungsmengen im gesteuerten Betrieb und den Entlastungsmengen im gesteuerten Modell ist die Güte des Modells ablesbar. Je kleiner die Abweichung desto genauer bildet das Modell die tatsächlichen Verhältnisse ab. Die gute Übereinstimmung von Modell und Realität wurde bereits im Abschnitt 7.2 erläutert und wird anhand der ausgewählten Regenereignisse wieder bestätigt.

Somit kann das Steuerpotenzial durch den Vergleich der gemessenen (gesteuerten) Entlastungsmengen und mit den simulierten (ungesteuerten) Entlastungsmengen ausreichend genau beziffert werden. Für die vier Regenereignisse ergeben sich Einsparungen der Gesamtentlastungsmenge durch die Steuerung zwischen 12 % und 88 % gegenüber dem ungesteuerten Betrieb (Tabelle 8-1).

**Tabelle 8-1: Einsparung der Gesamtentlastungsmenge durch Steuerung für die ausgewählten Regenereignisse**

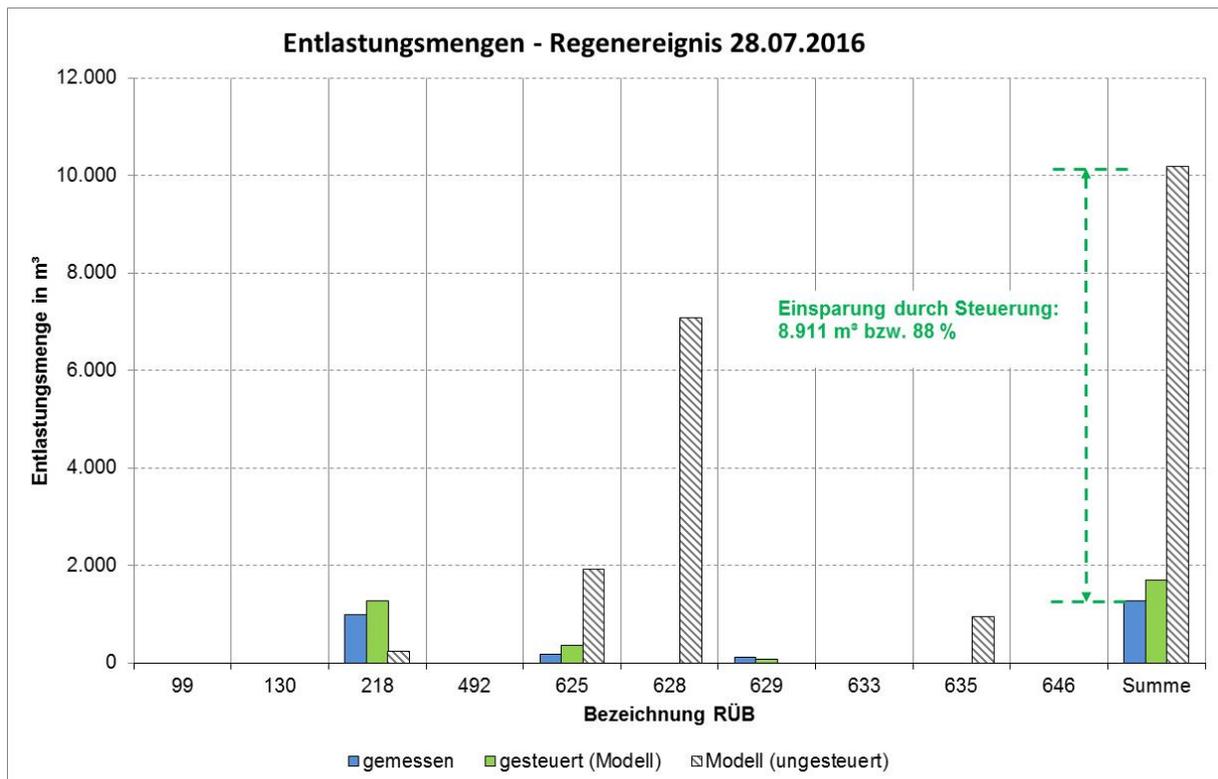
| Regenereignis - Nr. und Datum |                   | Gesamtentlastungsmenge |                         | Einsparung durch Steuerung |      |
|-------------------------------|-------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------|------|
|                               |                   | gesteuert (gemessen)   | ungesteuert (simuliert) | in m <sup>3</sup>          | in % |
| 1                             | 28.07.2016        | 1.263                  | 10.174                  | 8.911                      | 88   |
| 2                             | 02.08. - 04.08.16 | 5.889                  | 13.573                  | 7.684                      | 57   |
| 3                             | 27.08.2016        | 33.385                 | 41.168                  | 7.783                      | 19   |
| 4                             | 04.09.2016        | 49.916                 | 56.898                  | 6.982                      | 12   |

Dabei ist festzustellen, dass das prozentuale Einsparpotenzial umso größer ist, je kleiner das Regenereignis ausfällt bzw. je geringer die Gesamtentlastungsmenge ist. Damit ist noch einmal bestätigt, dass eine Steuerung gerade bei kleinen bis mittleren Ereignissen lohnend ist, weil dann die Möglichkeit besteht, freie Speicherkapazitäten im Netz auszunutzen. Bei großen Ereignissen ist das Kanalnetz an jeder Stelle gefüllt und das prozentuale Einsparpotenzial durch die Steuerung nimmt ab bzw. ist ggf. bei Starkregen nicht mehr vorhanden.

In den folgenden Abschnitten werden die ausgewählten Regenereignisse und die Auswirkungen der Steuerung detaillierter betrachtet.

## 8.2 Regenereignis am 28.07.2016

Bei dem vorliegenden Ereignis kam es an den zwei Bauwerken RÜB 625 Horrem und RÜB 629 Kölner Straße zu geringfügigen Entlastungen sowie zu einem etwas größeren RBF-Filterüberlauf am RÜB 218 auf der Kläranlage in Kenten (Bild 8-1).



**Bild 8-1: Entlastungsmengen und Einsparpotenzial durch Steuerung - Regenereignis Nr. 1, 28.07.2016**

Die Ergebnisse aus dem simulierten Defaultbetrieb zeigen, dass ohne Steuerung erheblich höhere Entlastungen zu erwarten gewesen wären. Die Auslastung der Bauwerke bei diesem relativ kleinen Ereignis wäre im ungesteuerten Betrieb sehr ungleichmäßig gewesen.

Durch die Steuerung konnte die Gesamtentlastungsmenge um 87,6% reduziert werden, da die im Netz vorhandenen Stauvolumina im Gegensatz zum Defaultbetrieb genutzt werden konnten. Dadurch wurden die Entlastungen an den Bauwerken verringert bzw. ganz vermieden. Die Steuerung erwies sich damit als prädestiniert für das vorliegende Regenereignis. Die Auswirkungen werden hier im Detail beschrieben:

**RÜB 628 Zum Parring, Mödrath:** Durch Zuschalten der zweiten Schnecke konnte der Behälterfüllstand im gesteuerten Betrieb knapp unter Vollfüllung gehalten werden und so umfangreiche Entlastungen vermieden werden.

**RÜB 625 Horrem:** Der Entlastungszeitraum konnte durch Erhöhung der Weiterleitungsmenge auf lediglich 30 Minuten verkürzt werden. Die Entlastungsmenge hat sich dadurch deutlich reduziert.

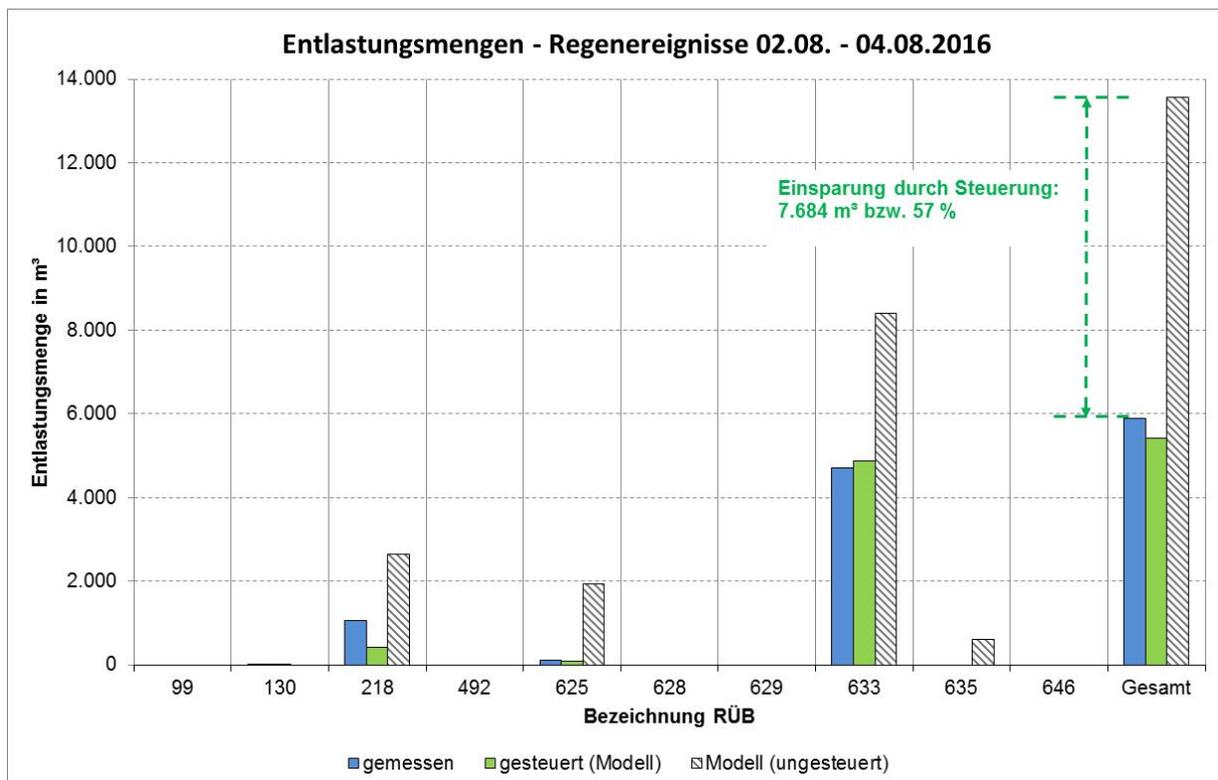
**RÜB 635 Hüttengraben:** Im gesteuerten Betrieb wurde der Behälterfüllstand knapp unter Vollfüllung gehalten und so Entlastungen an diesem Becken komplett vermieden.

**RÜB 629 Kölner Straße:** Das Bauwerk wäre im Defaultbetrieb nur zu gut 50% eingestaut worden. Durch die Steuerung wurde das Beckenvolumen vollständig ausgenutzt bis geringfügige Entlastungen auftraten.

**RÜB / RBF 218 Kenten:** Durch die erhöhten Weiterleitungen aus den vorgelagerten Bauwerken stauten RÜB und RBF 218 Kenten schneller ein als im ungesteuerten Betrieb. Die festgelegte Betriebsweise des RBFs sowie die Entleerungssteuerung des RÜBs sind nur durch Ersatzmodelle in der Steuerungssoftware abgebildet. Dies führte zu einer erhöhten Entlastung in Kenten, welche aber durch die Reduzierungen in den vorgelagerten Bauwerken mehr als ausgeglichen wurde.

### 8.3 Regenerereignisse zwischen dem 02.08. und dem 04.08.2016

Hier wurden mehrere, aufeinander folgende Regenerereignisse zwischen dem 02.08.2016 und dem 04.08.2016 mit unterschiedlicher Stärke und lokaler Ausprägung betrachtet. Es handelt sich dabei um eher kleine bis mittlere Regenerereignisse mit einer Gesamtentlastungsmenge von ca. 7.700 m<sup>3</sup> (Bild 8-2). Die Problematik lag in diesem Zeitraum unter anderem darin, dass das größte Ereignis am 03.08.2016 genau mit der Völlfüllung des RBF 218 Kenten zusammenfiel.



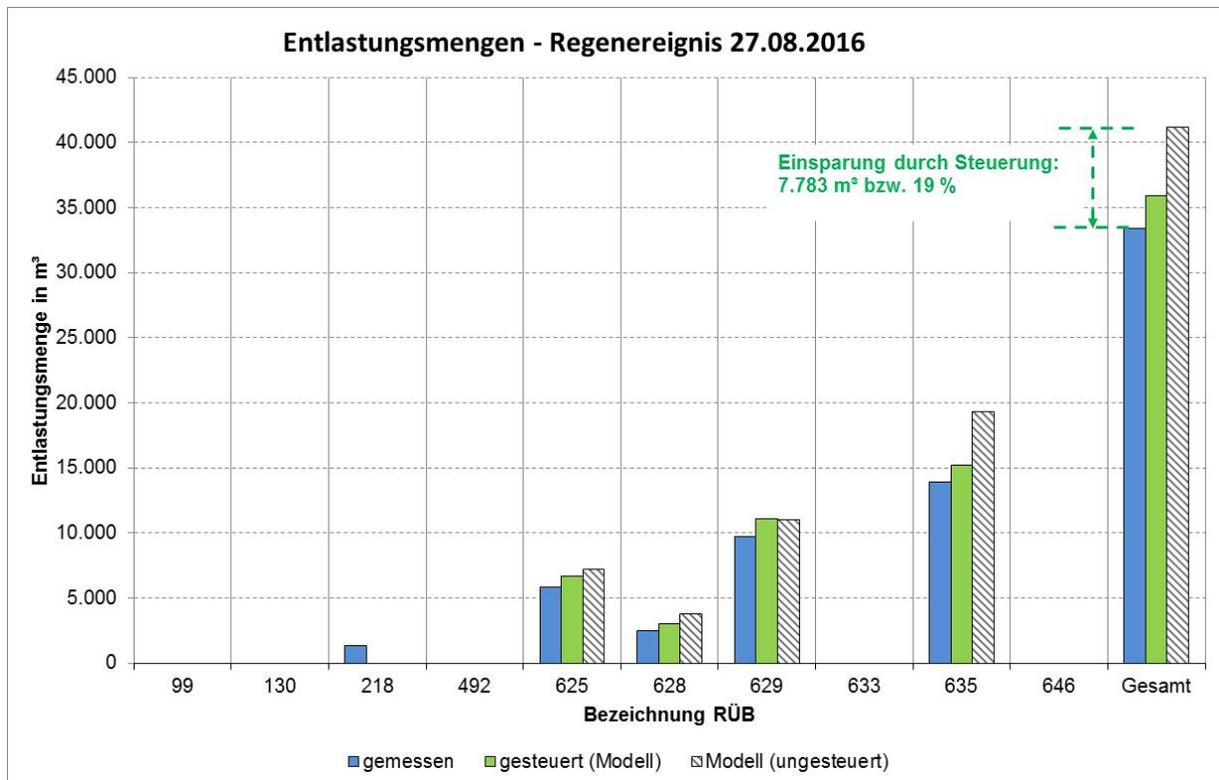
**Bild 8-2: Entlastungsmengen und Einsparpotenzial durch Steuerung - Regenerereignisse Nr. 2, 02.08. – 04.08.2016**

Die Steuerung war hier in der Lage, durch Variation der Weiterleitungsmengen die Entlastungen an allen Bauwerken deutlich zu reduzieren (in Summe -56,6%) und am RÜB 635 ganz zu vermeiden. Insbesondere konnte auch dynamisch auf die Füllsituation am RBF 218 Kenten reagiert werden. Der Zufluss nach Kenten konnte reduziert werden und so Filterüberlaufentlastungen gegenüber dem Defaultbetrieb reduziert werden.

## 8.4 Regenereignis am 27.08.2016

Das vorliegende Ereignis ist als größeres Ereignis einzustufen, da in Folge insgesamt ca. 33.000 m<sup>3</sup> entlastet wurden. Aus allen im Netz vorgelagerten Bauwerken konnten Entlastungen erkennbar reduziert werden, über alle Bauwerke insgesamt um 18,9% (Bild 8-3). Lediglich in Kenten kam es zu Entlastungen, die im simulierten Defaultbetrieb nicht auftraten. Im Defaultbetrieb hätte das RÜB 218 Kenten nur zu etwa 43% eingestaut, der RBF wäre gar nicht zum Einsatz gekommen. Durch Auslastung bzw. Einsatz von RÜB und RBF 218 Kenten wurden also die Entlastungen aus den vorgelagerten Bauwerken deutlich reduziert.

Durch die vereinfachte Abbildung des RÜB und RBF im Modell wich die Modellrechnung des gesteuerten Betriebs bis September von der Realität ab und wird hier nicht zur Bewertung herangezogen. Nach einer Korrektur im Modell wird erwartet, dass sich Entlastungen in Kenten weiter reduzieren lassen.

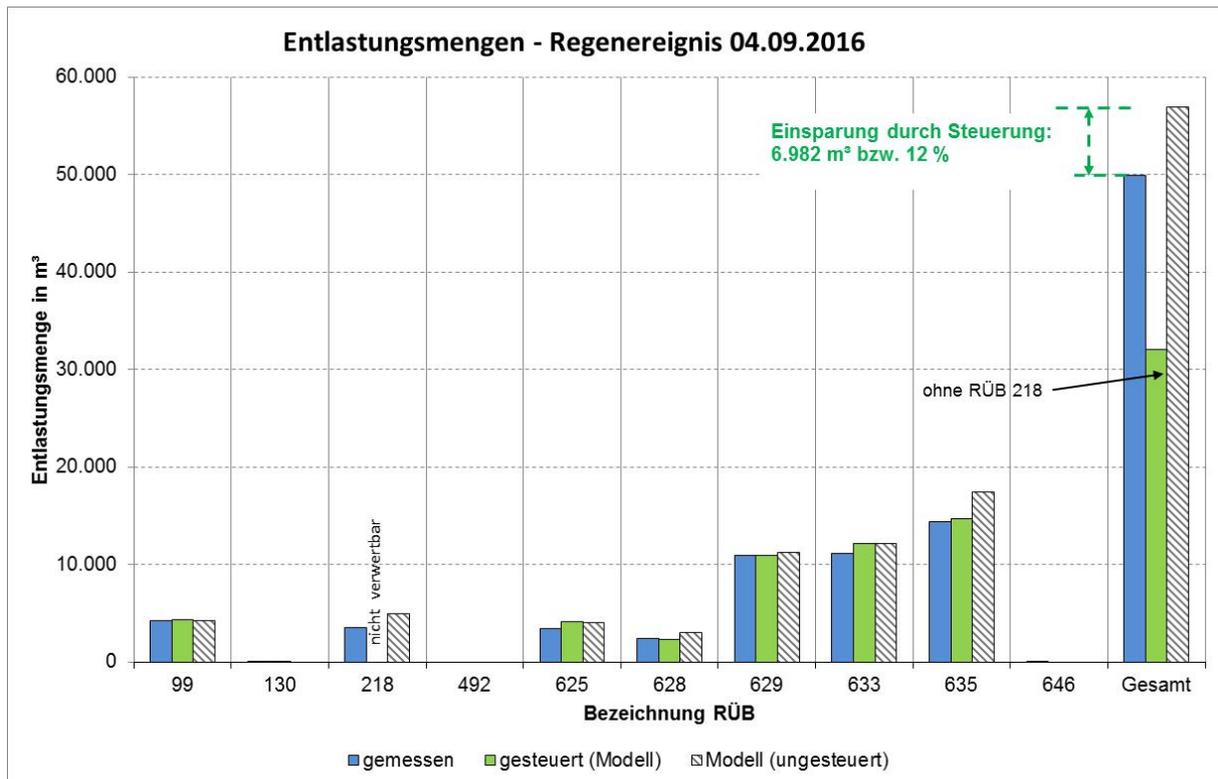


**Bild 8-3: Entlastungsmengen und Einsparpotenzial durch Steuerung - Regenereignis Nr. 3, 27.08.2016**

## 8.5 Regenereignis 04.09.2016

Das letzte betrachtete Regenereignis ist das größte in Bezug auf die Gesamtentlastungsmenge (ca. 50.000 m<sup>3</sup>). Es kam in allen Bauwerken zum Einstau und größtenteils zu nennenswerten Entlastungen. Für die Optimierung ist es bei derartigen Ereignissen schwierig,

noch Potenzial für eine Verschiebung von Weiterleitungsmengen zur Reduzierung von Entlastungen zu finden. Das Netz und alle Bauwerke sind bereits weitgehend gefüllt, deren Potenzial ist damit fast ausgeschöpft. Dennoch gelang es auch hier, die Entlastungsmenge gegenüber dem Defaultbetrieb um etwa 12,3% zu reduzieren. Erfreulich ist insbesondere, dass hier ebenfalls die Entlastungsmenge am RÜB / RBF 218 Kenten reduziert werden konnte, obwohl nur Ersatzmodelle zur Abbildung der RBF-Steuerung eingesetzt werden können.



**Bild 8-4: Entlastungsmengen und Einsparpotenzial durch Steuerung - Regenereignis Nr. 4, 04.09.2016**

## 9 Übertragbarkeit auf andere Netze

Mit der Einrichtung der Abflusssteuerung im Bestandsnetz Kenten wurde ein weiteres Praxisbeispiel geschaffen. Ein Ziel des Pilotprojekts war dabei auch, Standardisierungsmöglichkeiten für die Planung und Umsetzung einer Abflusssteuerung zu prüfen bzw. die Erfahrungen aus dem Projekt an die Fachwelt und in die Praxis weiterzugeben.

In Kenten wurde ein System eingesetzt, welches aus Modulbausteinen aufgebaut ist. Somit ist die Möglichkeit der Erweiterung und Übertragbarkeit auf andere Netze grundsätzlich gegeben. Der Aufwand (Zeit- und Kosten) lässt sich dadurch reduzieren und das Interesse an einer Abflusssteuerung steigern, um sie in zukünftigen Projekten als Lösungsvariante in die Planung einzubeziehen.

In diesem Kapitel wird zusammengefasst, welche Bausteine bzw. welche Erkenntnisse aus dem Projekt in Kenten auf andere Netze übertragbar sind und dort die Einrichtung einer Abflusssteuerung erleichtern können. Die Bausteine und Erkenntnisse sind separat aufgelistet, um einen schnellen Überblick zu gewähren.

### **Bausteine der Abflusssteuerung, die übertragbar auf andere Netze sind:**

- Das modulare System SIWA SEWER ist sowohl für das Netz Kenten erweiterbar als auch auf andere Netze übertragbar. Für die Übertragbarkeit auf ein anderes Netz müssen die Daten aus diesem Netz aufgenommen und in das Modell eingegeben werden. In der Regel liegen die Netzdaten in entsprechender Detailtiefe vor, so dass kein zusätzlicher Aufwand für die Datenaufnahme entstehen dürfte.
- Die Optimierungsgleichung ist im SIWA SEWER konfigurierbar hinterlegt. Die Anzahl und Art der Steuervariablen (Überstau, Einstau, Entlastung,...) müssen für ein neues Netz festgelegt werden. Ebenso müssen die Einstellungen für den Defaultbetrieb vorgegeben und die Steuerbereiche definiert werden. Dabei ergeben sich die Vorgaben für den Defaultbetrieb aus der wasserrechtlichen Genehmigung und die Steuerbereiche (Drosseleinstellungen) aus den vorhandenen Aggregaten. Für die Festlegung der Wichtungsfaktoren in der Optimierungsgleichung sind die Erfahrungen und Kenntnisse des Betriebs zu nutzen. Die ausführliche Erläuterung der Wichtungsfaktoren für das Netz Kenten ist im Abschlussbericht der ersten Phase dokumentiert und kann als Anregung dienen.
- Für nicht zu steuernde Bauwerke müssen Betriebsweisen hinterlegt werden. Insbesondere komplexere Betriebsweisen und Randbedingungen (z.B. RBF, KA-Zufluss) können anlagenspezifische Ersatzmodelle erfordern, die ggf. zu implementieren sind.
- Für den Input der aktuellen Betriebsdaten aus dem Leitsystem (OPC-Schnittstelle zu WinCC) können die bestehenden Schnittstellen aus dem Projekt Kenten konfiguriert

und verwendet werden. Anlagenspezifische Datenvorverarbeitungen (Bilanzen, Transformationen, Modelladaptation) sind ggf. zu implementieren.

- Das für Kenten erstellte Zuflussprognosemodell mit der frei verfügbaren Software HEC-HMS wird von online-Radardaten mit Radarprognose gespeist und simuliert daraus den Zufluss zu festgelegten Punkten im Kanalnetz. Das Simulationsmodell ist auch für andere Netze verwendbar, wenn die Daten der Kanalnetze im Modell angepasst werden. Die im Projekt Kenten definierten Schnittstellen und Programme für Formatanpassungen bei Eingabe –/ Ausgabedaten können ohne weitere Anpassung verwendet werden, sofern gleiche Datenformate vorliegen. Grundsätzlich können für eine Zuflussprognose auch andere auf dem Markt verfügbare Modelle zur Oberflächen- und /oder Kanalnetzabflusssimulation eingesetzt werden. Es muss dabei zuerst geprüft werden, ob das Modell für die Abbildung des speziellen Einzugsgebiets und die Verarbeitung der Eingangsdaten geeignet ist. In jedem Fall müssen dann neue Schnittstellen zum Steuerungstool und den Datenbanken definiert werden.
- Der Einsatz von Radardaten mit Radarprognose hat sich in Kenten als geeignet und höchst verfügbar erwiesen. Die Verwendung derartiger Radardaten ist auch für andere Netze möglich. Ebenso ist die Abfrageroutine zur Sicherstellung der Aktualität der Regendaten übertragbar.
- Zusätzlich zum Steuerungsprogramm wurden für das Projekt in Kenten Datenbanken und -strukturen entworfen, welche für die Verarbeitung und Archivierung der Daten notwendig waren. Die Strukturen und die Art der Archivierung können auch für andere Netze (ggf. mit Anpassungen zur Optimierung) verwendet werden.
- Zentrale Elemente für eine Abflusssteuerung sind ein Störmeldesystem und eine Ausfallstrategie. Das Störmeldesystem und die Ausfallstrategie für Kenten sind angepasst übertragbar, da sie als Teil der Datenvorverarbeitung implementiert sind und dort für andere Netze übernommen werden können.

### **Erkenntnisse:**

- Für die Umsetzung einer Abflusssteuerung sind bestimmte Daten unverzichtbar. So müssen für alle gesteuerten Becken detaillierte und verlässliche Volumen-/ Höhenstandsbeziehungen vorliegen, unabhängig davon, ob eine Optimierungsgleichung oder ein regelbasierter Algorithmus angewendet wird.
- Radardaten mit Radarprognose sind in der Form wie sie in Kenten genutzt wurden zur Verarbeitung als Zuflussprognose verwertbar, ausreichend genau und damit eine sehr gute Grundlage für die Steuerentscheidungen.

- Für die Messung von Höhenständen sind Ultraschallsonden vorzuziehen, da sie weniger stör anfällig (kein Kontakt mit dem Medium) und weniger wartungsanfällig sind.
- Für den Praxisbetrieb müssen Anpassungen zur Dämpfung schwankender Sollwertvorgaben vorgesehen werden. Mechanismen sind im SIWA SEWER bereits implementiert und können über wenige Parameter konfiguriert werden.
- Eine Modelladaption auf den aktuellen Zustand, d.h. ein online-Abgleich zwischen Messwerten und Modellwerten, ist notwendig, da es verschiedene Gründe gibt, warum Sollwerte nicht in der Realität umgesetzt werden (Leistungsfähigkeit der Aggregate, Handeinstellung, ...)
- Entscheidend für die Realisierung einer Abflusssteuerung ist für die meisten Betreiber der Aufwand für die Umsetzung und den Betrieb. Die Höhe des Aufwands hängt wesentlich von der vorhandenen technischen Ausrüstung, der Datenlage und den Kenntnissen über das Netz ab. Je detaillierter die Kenntnisse desto geringer der Aufwand. Bei Ausrüstung aller Becken gemäß der neuen SÜwVO Abw NRW 2013 besteht der zusätzliche Aufwand für eine Abflusssteuerung hauptsächlich in der Anschaffung eines Steuerrechners mit Steuerprogramm, der Anbindung an die vorhandene Leittechnik und das Störmeldesystem sowie der Anpassung des Modells und der Ausfallstrategie.
- Es empfiehlt sich in jedem Fall vor Inbetriebnahme der Steuerung, das System einige Monate (z.B. sechs) im ungesteuerten Betrieb zu beobachten, weil so Abweichungen zwischen Realität und Modell besser anpassbar sind. Eine enge Begleitung zu Beginn des gesteuerten Betriebs ermöglicht weitere Verbesserungen des Systems.
- Eine Abflusssteuerung generiert durch systematische Kontrolle auch eine Erhöhung der Betriebssicherheit.

## 10 Fazit

Die Abflusssteuerung wird in der Fachwelt schon seit über 30 Jahren diskutiert. Dennoch gibt es bisher relativ wenige Praxisbeispiele für eine Umsetzung in Bestandsnetzen in Deutschland. Mit der Realisierung und dem Betrieb der Abflusssteuerung im EZG der Kläranlage Kanten ist es gelungen, am erfolgreichen Beispiel zu zeigen, dass die Abflusssteuerung als Instrument zur Verbesserung des Gewässerschutzes auch in Bestandsnetzen geeignet ist.

Durch die intelligente Bewirtschaftung der Speicherräume im Kanalnetz konnte in Kanten die Gesamtentlastungsmenge in die Gewässer für verschiedene Regenereignisse zwischen 12% und 88 % reduziert werden. Bei kleineren und mittleren Regenereignissen war der Rückhalt Entlastungsmenge dabei besonders groß.

Das Projekt in Kanten hatte zusätzlich das Ziel, das Interesse der Fachwelt an der Abflusssteuerung zu steigern, damit letztere zukünftig als ernstzunehmendes Instrument in eine Planung einbezogen wird. Auch für diesen Punkt war das Projekt förderlich:

Das komplexe System der Abflusssteuerung mit 10 Becken im Verbund läuft seit Mitte März 2016 stabil und nahezu unterbrechungs- und störungsfrei. Die eingesetzten Modelle bilden das System realistisch ab, wodurch optimale Steuerentscheidungen vorgegeben werden können. Die in der vorangegangenen Projektphase theoretisch erarbeiteten Ergebnisse wurden damit in der Praxis verifiziert und übertroffen.

Der Einsatz von Online- Radarniederschlagsdaten mit Radarprognose erwies sich als geeignet und höchst zuverlässig um die Zuflüsse zum Kanalnetz zu generieren. In Kanten konnten neben der besseren Abbildung des Niederschlagsgeschehens gleichzeitig die vorhandenen Ressourcen (Radarniederschlagsdaten) intensiver genutzt werden.

Für einen vermehrten Einsatz von Abflusssteuerungen sind nicht nur ein stabiler Betrieb und die effiziente Nutzung von Ressourcen ausschlaggebend. Insbesondere vor dem Hintergrund der Klimawandeldiskussionen sind Instrumente gefragt, die flexibel und damit anpassungsfähig sind. Die realisierte Abflusssteuerung in Kanten ist modular aufgebaut und bietet so die Möglichkeit, ohne weitreichende Änderungen des jetzigen Systems eine Erweiterung der Steuerung im Betrieb vorzunehmen. Außerdem sind viele Komponenten derart konzipiert, dass sie für den Aufbau einer Abflusssteuerung in anderen Netzen modifiziert verwendet werden können.

Der Aufwand für die Einrichtung einer Abflusssteuerung lässt sich durch die Nutzung von modularen Systemen deutlich reduzieren und wird überschaubar (Steuerungsrechner, Steuerprogramm, Anbindung). In Nordrhein-Westfalen haben sich die Rahmenbedingungen für eine Abflusssteuerung zusätzlich durch die neue SÜwVO NRW 2013 geändert. Diese fordert eine umfangreichere Ausrüstung aller Regenbecken mit Messtechnik bzw. Bereitstellung einer Datengrundlage durch den Betreiber. Zukünftig dürfte damit der erforderliche Aufwand für die Einrichtung einer Kanalnetzsteuerung deutlich sinken, da durch die „Sowieso-

Maßnahmen“ eine gute Datenbasis vorhanden sein müsste.

Aus den Projekterfahrungen ist vor Inbetriebnahme einer aktiven Steuerung eine ungesteuerte Betriebsphase mit offline-Simulation der Steuerung in jedem Fall empfehlenswert, um Realität und Modell einfacher anpassen zu können. Die Dauer dieser Phase hängt auch von den vorhandenen Voraussetzungen im Netz ab. Als Richtwert können drei bis sechs Monate genannt werden.

Der Betriebsaufwand kann sich durch eine Abflusssteuerung sogar reduzieren. In Kenten funktioniert die in die Steuerung implementierte Störmelde- und Ausfallstrategie sehr zuverlässig, so dass das Betriebspersonal keine Einsätze aufgrund von zusätzlichen Störmeldungen hatte. Zudem lässt sich die Betriebssicherheit durch systematische Kontrollen (z.T. in die Steuerung integriert) verbessern und so Vorteile erzielen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Abflusssteuerung zukünftig mehr Aufmerksamkeit verdienen sollte, da sie auch für Bestandsnetze praxistauglich ist und zur Verbesserung des Gewässerschutzes oder des Betriebs beitragen kann. Eine gute Datenbasis und modulare Systeme tragen dazu bei, dass der Aufwand für die Einrichtung einer Abflusssteuerung überschaubar bleibt und durch die erzielbaren Vorteile aufgewogen wird.

Entscheidend für den erfolgreichen Betrieb einer Steuerung ist in jedem Fall, dass es überzeugte Befürworter gibt (i.A. das Betriebspersonal), die sich den geänderten Anforderungen bzw. Routinen stellen. Die Erfahrungen in Kenten haben gezeigt, dass mit einem engagierten Betrieb viel erreichbar ist und dass für eine breite Anwendung der Abflusssteuerung das erforderliche „Spezialwissen“ reduziert und transparenter vorgehalten werden sollte.

Mit dem Projekt Kenten wurde die Praxistauglichkeit der Abflusssteuerung nachgewiesen. Der nächste Schritt muss die Erhöhung der Benutzerfreundlichkeit und Nachvollziehbarkeit im Betrieb sein, wozu beispielsweise eine automatisierte Auswertung und Visualisierung vom Nutzen der Steuerung gehört.

# **Anlage 1**

## **Fließschema Kanalnetz Kenten**



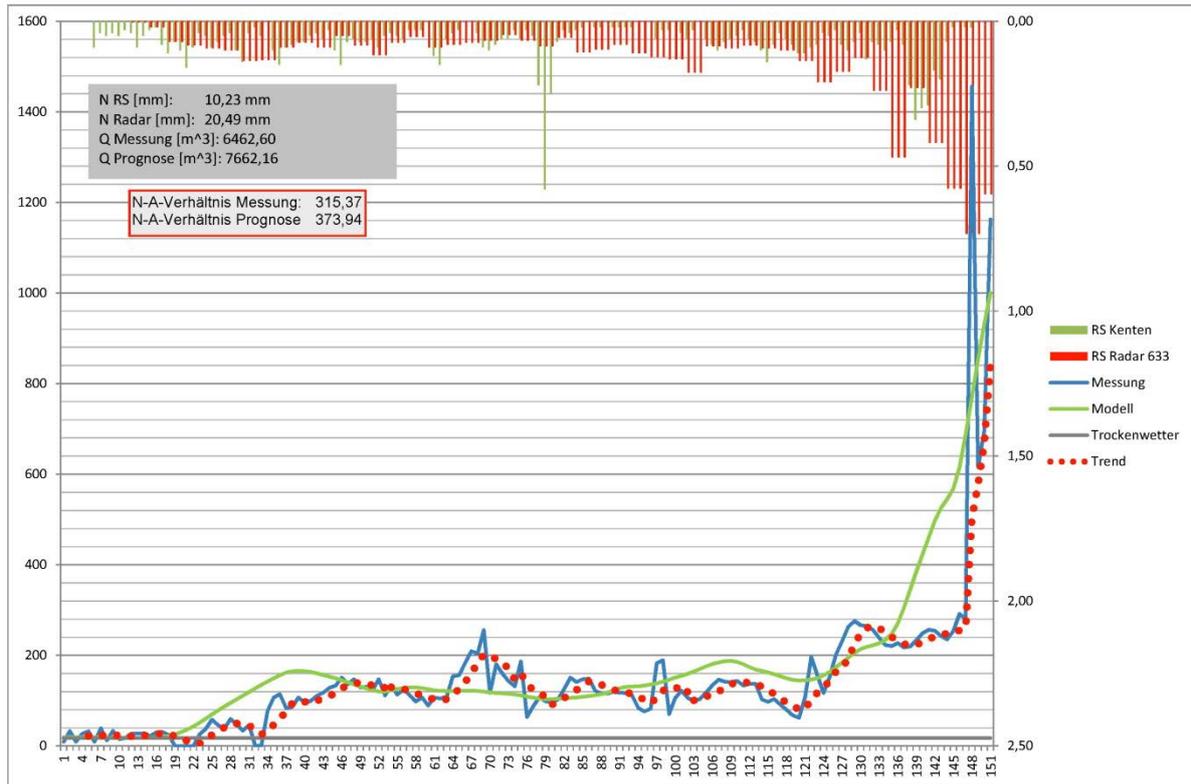
**Anlage 2: Wichtungsfaktoren für Beckeneinstau und Beckenüberlauf**

| Nr.                                                                                                                                                                                | Bezeichnung               | Gesamt Volumen | Q <sub>ab</sub><br>ungesteuerter<br>Zustand | für Steuerungssoftware        |                                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------|---------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                    |                           |                |                                             | Wichtung<br>Beckeneinstau     | Wichtung <sup>*1)</sup><br>Beckenüberlauf |
|                                                                                                                                                                                    |                           |                |                                             | je höher, desto unerwünschter |                                           |
| 99                                                                                                                                                                                 | RÜB Gew. Türnich (7609)   | 1.285          | 63                                          | 4                             | 300                                       |
| 130                                                                                                                                                                                | RÜB / PW Thorr            | 310            | 110                                         | 5                             | 750                                       |
| 218                                                                                                                                                                                | RÜB Kenten                | 3.698          | 621                                         | 4                             | 100 bzw. 10.000 <sup>*2)</sup>            |
| 218                                                                                                                                                                                | RBF Kenten                | 4.194          | 60                                          | 1                             | 10.000 <sup>*2)</sup>                     |
| 492                                                                                                                                                                                | RÜB Ahestr.               | 3.796          | 25                                          | 6                             | 750                                       |
| 625                                                                                                                                                                                | RÜB Horrem                | 2.882          | 74                                          | 7                             | 500                                       |
| 628                                                                                                                                                                                | RÜB Zum Parring, Mödrath  | 6.824          | 99                                          | 7                             | 700                                       |
| 629                                                                                                                                                                                | RÜB Kölnerstr.            | 3.286          | 130                                         | 6                             | 800                                       |
| 633                                                                                                                                                                                | RÜB Türnich               | 3.688          | 145                                         | 5                             | 400                                       |
| 635                                                                                                                                                                                | RÜB Hüttengraben, Sindorf | 7.215          | 99                                          | 8                             | 900                                       |
| 646                                                                                                                                                                                | RÜB Im Rauland            | 497            | 68                                          | 5                             | 300                                       |
| <b>Summe</b>                                                                                                                                                                       |                           | <b>37.675</b>  |                                             |                               |                                           |
| <p>*1) Wichtung für Überstau (Kanal) = 10.000 für eine Überschreitung der max. Gesamtzulaufmenge von 950 l/s<br/> *2) nach Vollfüllung RBF = Aktivierung Notentlastung: 10.000</p> |                           |                |                                             |                               |                                           |

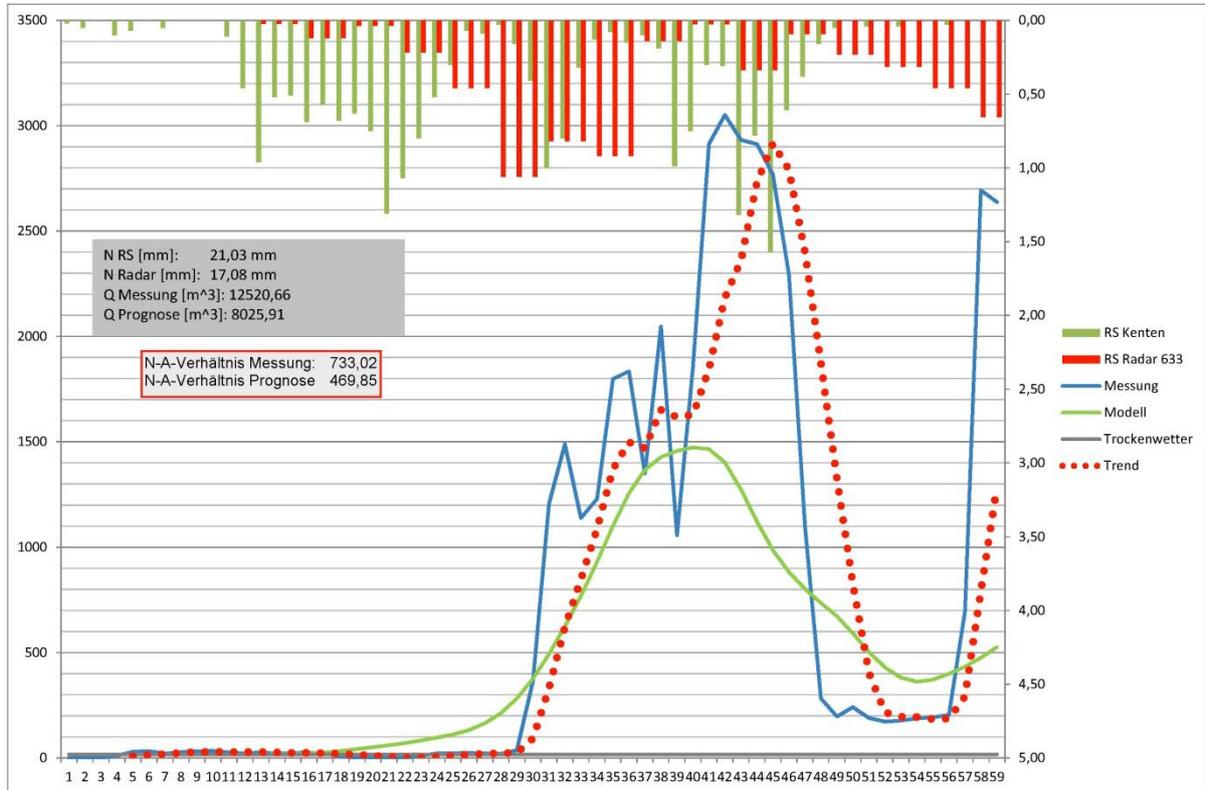


# **Anlage 3**

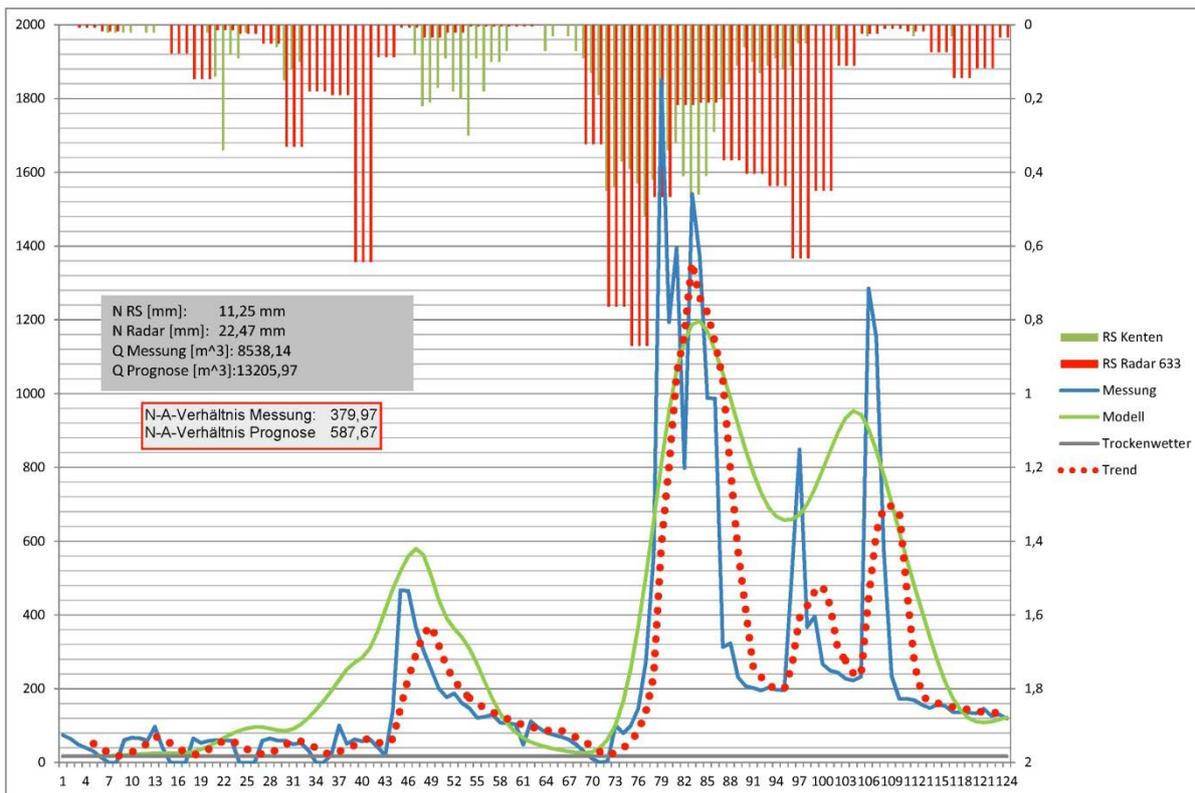
**Ergebnisse der Kalibrierung für RÜB 633  
für fünf ausgewählte Regenereignisse**



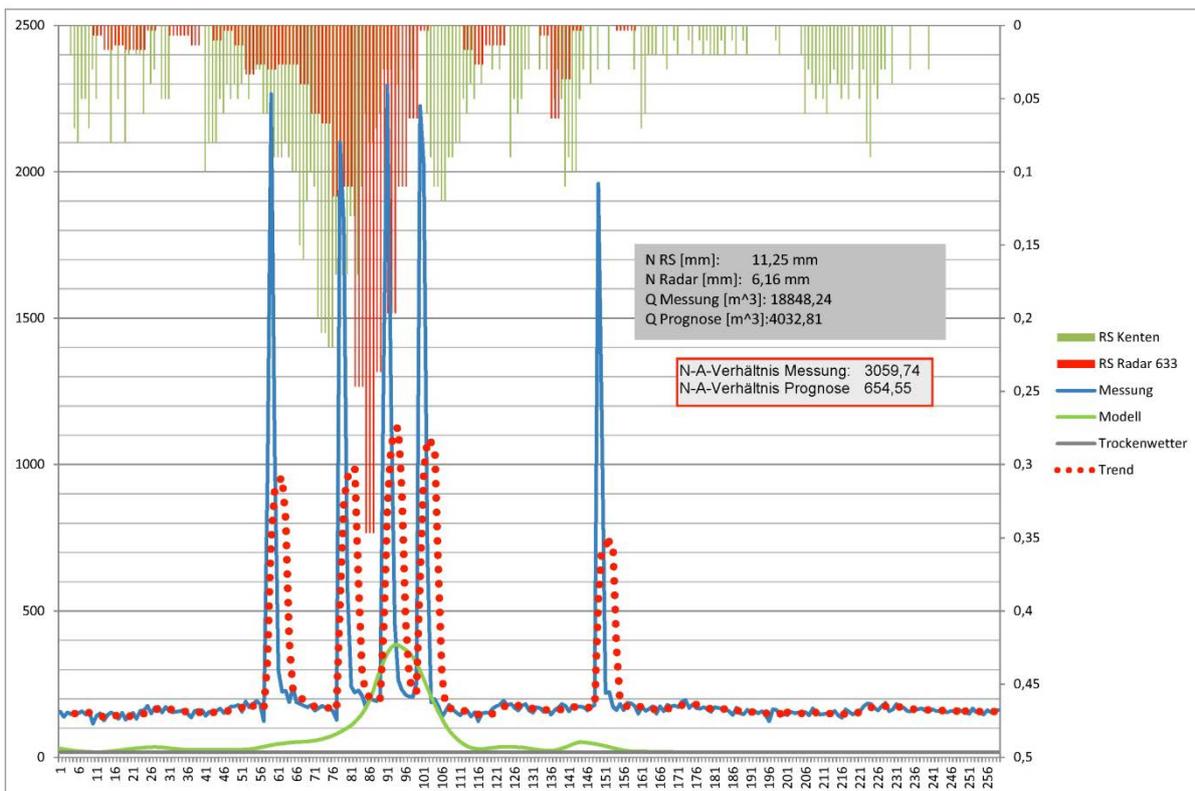
**Bild 11-1: Messung (blau bzw. rot) und Modellergebnisse (grün) und Niederschlagsdaten für RÜB 633 nach der Kalibrierung - Ereignis 1**



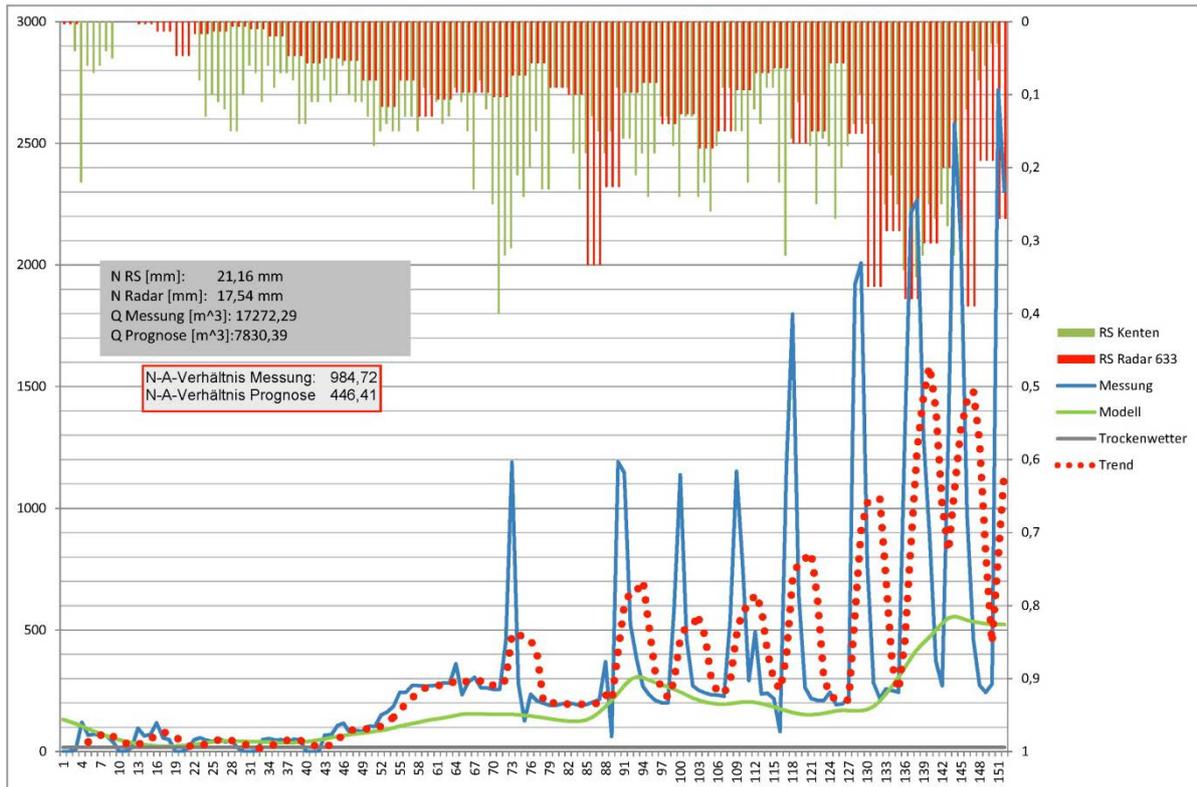
**Bild 11-2: Messung (blau bzw. rot) und Modellergebnisse (grün) und Niederschlagsdaten für RÜB 633 nach der Kalibrierung - Ereignis 2**



**Bild 11-3: Messung (blau bzw. rot) und Modellergebnisse (grün) und Niederschlagsdaten für RÜB 633 nach der Kalibrierung - Ereignis 3**



**Bild 11-4: Messung (blau bzw. rot) und Modellergebnisse (grün) und Niederschlagsdaten für RÜB 633 nach der Kalibrierung - Ereignis 4**



**Bild 11-5: Messung (blau bzw. rot) und Modellergebnisse (grün) und Niederschlagsdaten für RÜB 633 nach der Kalibrierung - Ereignis 5**

#### Zusammenfassung der Kalibrierung an RÜB 633 in Stichworten

- RE1: Zeitlicher Verlauf und Abflussspitze passen
- RE2: Abflussspitze der Messung passt nicht zum registrierten Niederschlag, Kalibrierung nicht sinnvoll anhand dieses Ereignisses
- RE3: Zeitlicher Verlauf und Abflussspitze passen, Abflussvolumen etwas zu groß
- RE4: Einfluss Wasserstau in Pumpensumpf, konstante Messwerte deuten auf vorheriges Ereignis mit Abfluss aus dem Becken hin
- RE5: Einfluss Pumpenvorgänge und Wasserstand im Pumpensumpf, zeitlicher Verlauf passt in registriertem Bereich

Fazit aus allen Regenereignissen:

- Für alle Regenereignisse stimmt die Spanne des Niederschlag-Abfluss-Verhältnisses im Modell
- Zusätzlich gute Übereinstimmung auch in der Abflussspitze und im Abflussvolumen für die Regenereignisse 1 und 3

## 12 Literatur zum Thema

- ATV (Abwassertechnische Vereinigung) (1992): Arbeitsblatt A 128 - Richtlinie für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen, ATV Regelwerk, April 1992
- ATV-DVWK (2001): Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen - Erläuterungen und Beispiele – Merkblatt M 177, ATV-DVWK-Regelwerk, Juni 2001, Hennef.
- BGS - Water- Brandt Gerdes Sitzmann Wasserwirtschaft GmbH 2009: MOMENT 8, Modellierung von Mischwasserentlastungen, Dokumentation Teil III, Anwendungshinweise Version 8, Juli 2009
- Bongards, M. (2010): Steuern und Regeln in Kanal und Klärwerk, UmweltMagazin Oktober-November 2010, s. 14-15.
- Bongards, M., Stockmann, A. (2011): Regelung des Kanalnetzes der Stadt Emmerich zur Vergleichmäßigung des Kläranlagen-Belastung, Vortrag auf der 74. Sitzung der DWA Arbeitsgruppe Integrale Abflusssteuerung (ES 2.4) am 14./15.11.2011, Köln, unveröffentlicht.
- BWK - Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau e.V. (2007): Ableitung von immissionsorientierten Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen unter Berücksichtigung örtlicher Verhältnisse, Merkblatt 3, November 2007.
- BWK - Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau e.V. (2008): Detaillierte Nachweisführung immissionsorientierter Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen gemäß BWK-Merkblatt 3, Merkblatt 7, November 2008.
- Christoffels, E. (2008): Monitoring und Modellanwendung – Entwicklung eines Immissionsinventars am Beispiel der Erft, Eigenverlag, Bergheim.
- Dahmen, H., Beeneken, T. (2006): Projekt zur Steuerung des RBF Bendstraße in Glehn, unveröffentlichter Bericht, Erftverband.
- DIN – Deutsches Institut für Normung (2008): Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden; Deutsche Fassung EN 752:2008, Beuth-Verlag.
- DWA (2005): DWA-Merkblatt M 180 - Handlungsrahmen zur Planung der Abflusssteuerung in Kanalnetzen – mit Programmpaket PASST, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, Dezember 2005, Hennef.

- DWA (2007): Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser, Merkblatt DWA-M 153, August 2007, DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef.
- DWA (2006): Leitlinien der integralen Entwässerungsplanung, DWA-A 100. DWA Regelwerk, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. Hennef, 2006.
- EV, Bezreg - Erftverband und Bezirksregierung Köln (2011): Fernerkundungsgestütztes Hochwasservorhersage- und Informationssystem für das Erfteinzugsgebiet (Howis Erft).
- Fuchs, L.; Beeneken, T., Nowak, R., Pfannhauser, G. (2007): Entwicklung und Implementierung einer Abflusssteuerung für das Kanalnetz der Stadt Wien, Korrespondenz Abwasser 2007 (54) Nr. 7, S. 680-689.
- Graner, M. (2011): Forschungsprojekt Kanalnetzsteuerung (KANNST), Vortrag auf der 74. Sitzung der DWA Arbeitsgruppe Integrale Abflusssteuerung (ES 2.4) am 14./15.11.2011, Köln, unveröffentlicht.
- Gruber, G., Kainz, H., Sprung, W., Flamisch, N., Pressl, A., Winkler, S. (2006): Langzeiterfahrungen mit dem Betrieb von Kanal-Online-Messstationen in Österreich. Tagungsband zur Tagung Abflusssteuerung – Schwallspülung – Gewässerschutz, 30. Und 31. August 2006, Zentrum für Umweltkommunikation, Osnabrück
- Grüning, H. (2005): Anwendungsspektren für Stoffparametermessungen in Misch- und Regenwasserkanälen. Online: [http://www.ta-hannover.de/newsletter/2005/08\\_05/gruening.pdf](http://www.ta-hannover.de/newsletter/2005/08_05/gruening.pdf), Stand Mai 2011
- Grüning, H., Tandler, R. (2006): Entlastungsfrachten simulieren – Entwicklung technischer Möglichkeiten. Tagungsband zur Tagung Abflusssteuerung – Schwallspülung – Gewässerschutz, 30. Und 31. August 2006, Zentrum für Umweltkommunikation, Osnabrück
- Grüning, H. (2008): Abflusssteuerung – quo vadis? Korrespondenz Abwasser Nr. 4, 2008, S.358 – 364
- Hüben, S., Lange, M., Rolfs, T., Einfalt, T., Wagner, R. (2009): Überarbeiteter Leitfaden zur Abflusssteuerung, erarbeitet im Rahmen des Projekts „Errichtung einer Abflusssteuerung in den Einzugsgebieten der Kläranlagen Eschweiler und Schleiden, Teil 2“, gefördert durch das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, unveröffentlicht.
- Hüben, S., Lange, M., Rolfs, T., Einfalt, T., Wagner, R. (2009a): Abschlussbericht zum Pilotprojekt „Errichtung einer Abflusssteuerung in den Einzugsgebieten der Kläranlagen Eschweiler und Schleiden, Teil 2“, Einzugsgebiet der Kläranlage Eschweiler,

gefördert durch das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (AZ 54-2-3.3-1823-vMe), unveröffentlicht.

- Londong, J., Hoppe, H., Weiland, M., Orth, H., Erbe, V., Böcker, K. (2003): Ein integrales Gesamtkonzept für Einzugsgebiet, Kanalnetz, Kläranlage und Gewässer. 36. Essener Tagung in Aachen, 2003, GWA (Gewässerschutz, Wasser, Abwasser) Band 190, ISBN 3-932590-83-X.
- MKULNV (gefördert) (2012): Großtechnische Erprobung eines standardisierten Optimierungs- und Simulationswerkzeugs zur Online-Kanalnetzsteuerung am Beispiel des Einzugsgebiets der Kläranlage Kenten im Erftverbandsgebiet, Abschlussbericht der Phase I, gefördert vom Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV), Juni 2012, abrufbar unter [https://www.lanuv.nrw.de/uploads/tx\\_mmkresearchprojects/Abschlussbericht\\_Grosstechnische\\_Erprobung.pdf](https://www.lanuv.nrw.de/uploads/tx_mmkresearchprojects/Abschlussbericht_Grosstechnische_Erprobung.pdf).
- MKULNV (2009): MKULNV-Steckbriefe der Planungseinheit 2009: Erft; abrufbar unter [www.umwelt.nrw.de](http://www.umwelt.nrw.de).
- MUNLV - Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2003): Retentionsbodenfilter. Handbuch für Planung, Bau und Betrieb (1. Aufl.). Düsseldorf.
- N.N. (2009): Abschlussbericht, Entwicklung eines Simulationsverfahrens zur Minderung von Schmutzfrachtausträgen aus mittleren bis großen Kanalisationsnetzen durch Einsatz moderner Steuerungselemente, Projekt AZ 23419/23-2, gefördert durch die DBU - Deutsche Bundesstiftung Umwelt.
- Pabst, M., Beier, M., Rosenwinkel, K.-H., Schütze, M., Alex, J., Peikert, D., Niclas, C. (2010): Adaption und Entwicklung einer vorkonfektionierten Steuerungsbox zur Abflusssteuerung von Kanalnetzen, Korrespondenz Abwasser 2010 (57), Nr. 6. S. 551-557.
- Peikert, D. (2011): Erfahrungen bei der Implementierung von ADESBA in Hildesheim, Vortrag auf der 74. Sitzung der DWA Arbeitsgruppe Integrale Abflusssteuerung (ES 2.4) am 14./15.11.2011, Köln, unveröffentlicht.
- Rohlfing, R., Nietzschmann, C., Weilandt, M. (2007): Erfahrungen mit der Abflusssteuerung in Leipzig, Vortrag auf dem 8. Kölner Kanal Kolloquium 2007, Aachener Schriften zur Stadtentwässerung Band 11.
- Schmitt, T. (2012): Aktuelle Entwicklungen im technischen Regelwerk für Regenwetterabflüsse, Vortrag auf der 45. Essener Tagung, 14.03.- 16.03.2012 in Essen.

- Seggelke, K., Träncker, J., Fuchs, L., Krebs, P. (2009): Fuzzybasierte Regelung des Mischwasserzuflusses, Großtechnische Untersuchung zur Integration von Kanalnetz und Kläranlage, Korrespondenz Abwasser 2009 (56), Nr. 2, S. 144-151.
- Seggelke, K. (2011): Kanalnetz- und Kläranlagenzuflusssteuerung, Beispiel Wilhelmshaven, Vortrag auf der 74. Sitzung der DWA Arbeitsgruppe Integrale Abflusssteuerung (ES 2.4) am 14./15.11.2011, Köln, unveröffentlicht.
- SüwVOAbw - Selbstüberwachungsverordnung Abwasser: Verordnung zur Selbstüberwachung von Abwasseranlagen Nordrhein-Westfalen, 17. Oktober 2013, GV. NRW. Nr. 33 vom 08.11.2013 S. 602
- Theilen, U., Beckder, T., Abel, C., Eschke, P., Scheer, M. (2006): Onlinemessungen im F+E Projekt ASTREIN. Tagungsband zur Tagung Abflusssteuerung – Schwallspülung – Gewässerschutz, 30. Und 31. August 2006, Zentrum für Umweltkommunikation, Osnabrück